

УДК 786

## ВОЛНЫ МАРТЕНО В КОМПОЗИТОРСКОМ ТВОРЧЕСТВЕ XX ВЕКА: ОТ ЭДГАРА ВАРЕЗА К ПЬЕРУ БУЛЕЗУ И ТРИСТАНУ МЮРАЮ

*Ли Мэнхань<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Академия Русского балета имени А. Я. Вагановой, ул. Зодчего Rossi, д. 2, Санкт-Петербург, 191023, Россия.

Статья посвящена истории электронного инструмента волны Мартено и формированию репертуара. В различные периоды композиторы обращались к этому инструменту с большей или меньшей степенью активности. В статье анализ фокусируется на трех авторах: Эдгаре Варезе, Пьере Булезе и Тристане Мюрае. Описывается судьбоносная роль инструмента в творческой карьере Пьера Булеза, который оказался на рубеже различных эстетик, кардинально изменив свое отношение к инструменту от приятия – к резкому отрицанию возможности его использования в своем творчестве. Последующая жизнь и судьба инструмента оказалась связанный с направлением французского спектрализма и с творчеством одного из ведущих композиторов данного направления – Тристана Мюрая. Выводом из исследования становится тезис о том, что в различные периоды существования новой музыки XX века композиторский интерес к инструменту был обусловлен в первую очередь эстетическими факторами. Он представлен как дилемма выразительного и антиэкспрессивного.

**Ключевые слова:** Волны Мартено, электронная музыка, новая музыка, Эдгар Варез, Пьер Булез, Тристан Мюрай.

MARTENOT WAVES IN 20th-CENTURY COMPOSITION: FROM EDGARD VARÈSE TO PIERRE BOULEZ AND TRISTAN MURAIL

*Li Menghan<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Vaganova Ballet Academy, 2, Zodchego Rossi St., Saint Petersburg, 191023, Russia.

This article explores the history of the electronic instrument, the Martenot waves, and the development of its repertoire. Composers have used this instrument with varying degrees of intensity throughout various periods. The article focuses on three composers: Edgard Varèse, Pierre Boulez, and Tristan Murail. It describes the instrument's pivotal role in the creative career of Pierre Boulez, who found himself at the crossroads of different aesthetics, radically shifting his attitude toward the instrument from acceptance to a sharp rejection of its use in his work. The

instrument's subsequent life and fate were linked to the French spectral movement and the work of Tristan Murail, one of its leading composers. The study concludes that, throughout the various periods of new music in the 20th century, composers' interest in the instrument was driven primarily by aesthetic factors. This interest is presented as a dilemma between the expressive and the anti-expressive.

**Keywords:** Martenot Waves, electronic music, new music, Edgard Varèse, Pierre Boulez, Tristan Murail.

Оригинальный по тембру и способам звукоизвлечения музыкальный инструмент волны Мартено, появившийся в первой трети XX века, получил распространение через творчество известнейших композиторов своего времени, таких как: Артур Онеггер, Андре Жоливе, Эдгар Варез, Пьер Булез, Оливье Мессиан, Тристан Мюрай, Джачинто Шельси и других. Изначально изобретатель инструмента Морис Мартено стремился создать такой электронный музыкальный инструмент, который мог бы занять место среди традиционных симфонических инструментов и одновременно оказаться в центре композиторского внимания, сочетать в себе и новизну, и академическую сдержанность. Для достижения этой цели Мартено проанализировал факторы, которые, как он полагал, не способствовали широкому признанию в среде музыкантов и композиторов продвижению терменвокса, чей тембр и принцип звукообразования был схож с волнами Мартено [1, с. 112]. Техника игры на последнем инструменте была совершенно иной, в сравнении с изобретением Термена. Ее основания прослеживались в традиционных инструментах. И, несмотря на воздушный, космический тембр звука, процесс звукоизвлечения мало отличался от клавишных инструментов. По сути своей это был небольшой вертикальный клавишный инструмент, похожий на клавикорд, чей деревянный корпус визуально не диссонировал с любым инstrumentальным ансамблем [1, с. 116].

Волны Мартено были впервые представлены публике в Париже в мае 1928 года, когда сам Морис Мартено сыграл солирующую партию в мировой премьере «Симфонической поэмы», созданной специально для этого инструмента с оркестром Димитрисом Левидисом [1, с. 114]. После этого успешного дебюта в Париже последовало европейское турне, а дирижер Леопольд Стоковский привез волны Мартено в США для исполнения произведения Левидиса с Филадельфийским оркестром в декабре 1930 года. Затем последовало мировое турне; на Международной выставке в Париже в 1937 году состоялись демонстрационные концерты ансамблей волн Мартено, насчитывающих до двенадцати музыкантов.

Безусловно, одной из серьезных проблем продвижения волн Мартено могло стать отсутствие репертуара для нового инструмента. Для ее решения младшая сестра Мориса Мартено, Жиннетт, писала письма композиторам Мийо, Онеггеру и Жоливе и в итоге взяла на себя ответственность за получение разрешения на транскрипцию существующих партитур для волн Мартено [2, с. 144].

Одним из тех, кто после триумфальной презентации инструмента с «Симфонической поэмой» Димитриса Левидиса обратил внимание на новый инструмент, был композитор-авангардист Эдгар Варез. Его сочинение «Америки» (“Americas”), которое исследователи характеризуют как «первый зрелый опус» [3], было создано для большого состава оркестра с расширенной группой ударных и пожарной сиреной. В этом сочинении, созданном в период с 1918 по 1921 год как «символ новых миров на Земле, в Космосе и в человеческих душах», композитор выразил свои новаторские устремления. В дальнейшем его увлек и тембровый потенциал волн Мартено. Он интегрировал этот инструмент в яркую и красочную тембровую палитру своей композиции «Экваториал» (“Ecuatorials”, 1929) в версии 1961 года после предварительного изучения возможностей терменвокса и других электронных инструментов. Следует также подчеркнуть, что путь к волнам Мартено для Вареза не был прямым. Его интерес к новому инструменту возник между «Америками» (1929) и «Ноктюрном» (“Nocturnal”, 1961) [3].

В первой версии «Экваториала» (1932–1934) Варез отдал предпочтение терменвоксу, а затем изменил свое решение, переделав в 1961 году партитуру уже для волн Мартено. Он осуществил замену из практических соображений: сочинение, завершенное в 1934 году, содержало партии, предназначенные для двух грифовых терменвоксов, помимо вокалиста-баса, духовых и ударных духовых инструментов, фортепиано и органа. Премьера состоялась 15 апреля 1934 года под управлением Николаса Слонимского. В начале 1960-х годов компания «Colfranc Inc. Franco Colombo» впервые обратилась к Варезу с предложением опубликовать партитуру «Экваториала» с двумя грифовыми терменвоксами. Через некоторое время выяснилось, что из-за раритетности инструментов партитура не будет востребована, поэтому издательство изменило заказ и на этот раз запросило партитуру для (двух) волн Мартено [4].

Варез был буквально одержим поиском чистого и «плавающего» тембра звука. Управляемый и пластичный в одновременности, тягучий звук волн Мартено, характеризующийся определенной высотой тона, интенсивностью, частотой и ярким тембром, бесспорно, привлекал Вареза.

Пьер Булез в 1930-е годы учился игре на инструменте у самого Мориса Мартено. Булез услышал звучание волн Мартено на репетициях «Трех маленьких литургий» своего учителя по композиции Оливье Мессиана [6], затем начал брать уроки игры на инструменте. Вскоре изначальный интерес к тембру волн сменился резкой критикой звучания инструмента. Булез не принимал его включения Мессианом в состав «Турангалилы» и «Трех маленьких литургий». Себе же он пообещал никогда не дирижировать этими сочинениями, которые с негативной юношеской горячностью назвал «музыкой борделя» (“brothel music”) [5].

Булез написал для волн Мартено квартет [7], от которого со временем отрекся. Следуя творческому принципу создания различных версий одного и

того же сочинения, Булез переделал квартет в сонату для двух фортепиано (1948), изъяв его партитуру из творческого каталога [5].

Поразительно, что в студенческие годы Булез работал с волнами Мартено в своей театральной музыке. История начала дирижерской карьеры Булеза в театре Фоли-Бержер в Париже в 1940-х годах<sup>1</sup> оказалась также напрямую связанной с волнами Мартено. Этот инструмент в 1946 году был принесен Артуром Онеггером в дар выдающемуся французскому актеру и режиссеру Жану-Луи Барро для музыкального сопровождения «Гамлета», шедшего в «Комеди Франсез». («Гамлет» в переводе Андре Жида на музыку Артура Онеггера создавался не только для духовых инструментов и ударных, но также и для волн Мартено [5].)

В середине 1940-х годов Булез был назначен музыкальным руководителем театральной компании «Рено-Барро». Тогда под влиянием Онеггера и Жоливе он и написал квартет для волн Мартено (1945–1946), но уже в 1949 году, когда его профессор композиции и наставник Оливье Мессиан написал симфонию «Туранджилия», использовав в партитуре волны Мартено, Булез начал критиковать инструмент: публично высказался, что, на его вкус, «волны Мартено слишком сентиментальны, ...вибратор невыносимо, а музыка, написанная для инструмента, уродлива» [2, с. 76]. (Вместе с Булезом Рене Лейбович называл тембр волн Мартено «ужасным» [9, р. 28].)

Булез использовал волны Мартено в первой версии Кантаты «Свадебный лик» (*“Le Visage nuptial”*, 1946) на стихи французского поэта-сюрреалиста Рене Шара, которую создавал в промежутке между 1-й и 2-й фортепианными сонатами. В вокальной партии он объединил дуэт сопрано и альта с помощью небольшого инstrumentального ансамбля из волн Мартено, фортепиано и ударных. В 1951–1952 годы «Свадебный лик» обрел вторую жизнь в форме произведения для сопрано, альта, женского хора и большого оркестра. Существует и третья версия Кантаты 1989 года, в которой Булез избегал микроинтервалики, в частности четвертитонов.

Гастролируя с труппой театра, в 1950-е Булез открыл для себя Южную Америку, США и Канаду. В Нью-Йорке, благодаря Джону Кейджу, он познакомился с поэзией Каммингса и с художниками-авангардистами де Кунигом, Гастоном, Поллоком, Колдером, а также с музыкантами Эдгаром Варезом и Игорем Стравинским. В Париже Булез был представлен Сюзанне Тезенас, которая держала один из последних парижских салонов, посещаемый многочисленными интеллектуалами, галеристами, художниками и литераторами (Николя де Сталь, Анри Мишо и Альберто Джакометти и др.).

---

<sup>1</sup> Булезу было всего двадцать лет, и у него не было дирижерского опыта. Постоянное присутствие в театре, тем не менее, оставляло французскому авангардисту достаточно времени, чтобы сочинять музыку. Это была очень хорошая работа для молодого человека, который еще даже не закончил учебу. Но она также заставила его дирижировать в основном театральными партитурами [5].

При поддержке Пьера Сувчинского Булез организовал несколько концертов. Тогда же начался его тесный дружеский диалог с Кейджем, Штокхаузеном, Берио, Мадерной, Ноно, Пуссёром и Циммерманом, продолжившийся в Дармштадте и на Донауэшингенском фестивале [7].

Начиная с 1950-х годов ослабляется интерес к волнам Мартено со стороны композиторов, работавших в области электронной музыки. Несмотря на то, что инструмент был электронным, его выразительный тембр противоречил эстетическим ориентирам композиторов второго авангарда – Герберта Аймерта и Карлхайнца Штокхаузена, работавших в Кельнской студии электронной музыки (WDR). Оба стремились освободиться от узнаваемых звуковых тембров, используя и обогащая простые синусоидальные тоны, производимые осцилляторами.

Не интересовали волны Мартено и теоретика и практика конкретной музыки Пьера Шеффера, работавшего в студии конкретной музыки Studio D'Essai на Radiodiffusion-Télévision Française (RTF). В интервью 2008 года композитор сказал, что «голос» инструмента «слишком человеческий» [2, с. 48].

Перерыв в создании произведений для волн Мартено или с участием этого инструмента произошел и в творчестве Мессиана, игнорировавшего этот тембр вплоть до 1983 года – премьеры своей оперы «Святой Франциск Ассизский» [8, р. 16].

В новой музыке Франции конца 1960-х годов доминировали сериальные принципы композиторского мышления. Несмотря на гибкий и индивидуализированный подход Пьера Булеза к сериализму, этот метод постепенно становится все более академичным. Эстетика, отрицавшая выразительность, вычеркнула тембровую «человечность», которой обладал инструмент волны Мартено, из гипотетической звуковой палитры. Новое поколение молодых композиторов, обучавшихся в Парижской консерватории в классе Оливье Мессиана, устремилось навстречу новым идеям, поскольку, как утверждал Тристан Мюрай (присоединился к классу композиции Мессиана в 1967 году), за «два десятилетия послевоенное композиторское поколение выродилось в безжизненную доктрину, которая вместо того, чтобы способствовать творческому импульсу, служила препятствием: Форе сменил Булез, но академический дух остался нетронутым» [10, р. 118].

Для новой эпохи спектрализма волны Мартено могли стать своего рода метафорой. Волна в какой-то мере идентична обертоновому спектру<sup>2</sup>, ставшему основой спектрализма. Бунт против «заструктуренных знаковых систем» [11], «за возвращение музыке ее изначального смысла в виде красоты звука и чувства» [11] расставил иные приоритеты: «человечность» и экспрессивность волн Мартено вновь оказалась востребована.

---

<sup>2</sup> Обертоновый спектр – это сумма простейших колебаний, т. е. *собственных частот в системе* Фурье, представляющих собой синусоиды, или волны.

Композитор Тристан Мюрай занимался игрой на органе, прежде чем начать учиться игре на волнах Мартено в Schola Cantorum у известной волнистки Жанны Лорио, на деятельности которой в парижской консерватории следует остановиться отдельно. Жанна была младшей сестрой пианистки Ивонн Лорио (жены композитора Оливье Мессиана) и сыграла важнейшую роль в исполнительской практике и продвижении репертуара. Родившаяся в 1928 году, Лорио была не только ровесницей волн Мартено, но и стала частью истории этого инструмента, т. к. создала учебник игры на нем [12].

Лорио впервые услышала звучание волн Мартено в Парижской консерватории, где начала обучаться игре на инструменте у Мориса Мартено. Обширный репертуар Лорио насчитывал четырнадцать концертов для «волн» с оркестром или различными ансамблями, около трехсот произведений с концертными партиями для «волн» и двухсот пятидесяти камерных произведений. Долгое время Жанна Лорио вела класс в Парижской консерватории, постоянно расширяя свой репертуар, в том числе за счет сочинений, написанных специально для нее французскими композиторами. В качестве исполнительницы «Турангалилы» О. Мессиана, она гастролировала в Европе, Южной и Северной Америке, в Африке и Австралии. С ее участием были осуществлены шесть записей симфонии под руководством дирижеров Пьера Булеза, Сейджи Озавы, Шарля Мюнша, Зубина Мета. В ноябре 1974 года Жанна Лорио сыграла на волнах Мартено в Большом зале Ленинградской филармонии вместе с оркестром под руководством дирижера Шарля Брюка оперу Мессиана «Святой Франциск Ассизский». Лорио также реализовывала премьерные исполнения произведений Марселя Ландовски, Андре Жоливе, Артура Онеггера, Тристана Мюрая и Михаэля Левинаса. В дальнейшем Жанна Лорио участвовала в записях многочисленных саундтреков к фильмам с Морисом Жарром («Лоуренс Аравийский», «Безумный Макс» и др.), Жаком Брелем, рок-группой Radiohead. Жанна Лорио была профессором волн Мартено в Парижских консерваториях (*École Normale de Musique* и *Schola Cantorum*), а также основала секстет волн Мартено Жанны Лорио в 1974 году [1].

Во времена создания Тристаном Мюраем<sup>3</sup> пьесы «Mach 2,5» (1971) этот инструмент уже не пользовался былой популярностью. В этом сочинении волны Мартено представлены, скорее, в роли генератора особых электронных звуков. Предварительно композитор довольно долго изучал инструмент и его возможности: главным образом, его интересовали объективные характеристики, явления резонанса и возможности квази-полифонии, возникавшей из-за применения чрезвычайно быстрых трелей. Эта пьеса звучит преимущественно на клавиатуре и не включает в себя линеарных мелодических образований. Невероятная, почти что экстремальная скорость, возможная на клавиатуре волн Мартено, позволяет инструменту, несмотря на его

<sup>3</sup> Обучался игре на волнах Мартено у Жанны Лорио.

одноголосную природу, создавать массы движущегося звука, удивительный эффект скорости сменяющихся звучностей при внешней неподвижности.

В другом сочинении Тристана Мюрая «Потоки Пространства» (*Courants de l'Espace*) для волн Мартено, фортепиано, электроники и оркестра инструменты сочетаются с живой электроникой как системой звуковых преобразований в режиме реального времени. Чистый и выразительный тембр волн Мартено мы редко слышим в этой пьесе. Чаще всего звуки волн преобразуются при помощи кольцевой модуляции, обеспечивая переменные частоты. Так возникают сложные комбинированные тембры. Эти звуки далее синтезируются оркестром, ведущим диалог с электронным солистом. И все это происходит как в классическом концерте!

Звук волн Мартено преобразуется с помощью амплификации и усиления посредством динамика, а также посредством фильтрации, контролируемой с помощью механизма кольца, – интенсивностью, модуляцией с белым шумом и реверберацией. Каждое преобразование эквивалентно общей оркестровой структуре. Волны Мартено воссоздают эффект зеркала – удвоения оркестра, ансамбля, части которого отвечают друг другу, обрисовывая зеркальное звуковое пространство. Образы возникают из вибраций. А та необыкновенная аура, которую волны Мартено создают на протяжении всего произведения, образует особый звуковой ландшафт – воздушное пространство внутри звука.

На сегодняшний день создан достаточно обширный репертуар волн Мартено. Он включает в себя более тысячи произведений в различных жанрах и стилях. Среди наиболее известных композиторов, помимо ранее упомянутых, – Сильвано Буссotti, Жозеф Кантелуб, Жака Шайе, Жак Шарпантье, Мариус Констан, Анри Дютийё, Нгуен Тьен Дао, Жак Ибер, Морис Жарр, Андре Жоливе, Шарль Кёхлен, Марсель Ландовски, Дариус Мийо, Николя Обухов, Бернар Пармеджани, Франсуа Раубер<sup>4</sup>, Морис Равель<sup>5</sup>, Анри Соге, Джачинто Шелси, Ёсихиса Тайра, Анри Томази, Эдгар Варез, Пьер Веллонес.

Подводя итоги, можно сделать выводы, что в различные периоды существования новой музыки XX века композиторский интерес к инструменту был обусловлен в первую очередь эстетическими факторами. Этот тип отношений можно представить как дилемму выразительного и антиэклектического. Волны Мартено, обладая ярким «очеловеченным» голосом, оказались не востребованы в эстетике сериализма с выраженной в крайних формах антиромантической направленностью и предельно рациональным мышлением. Однако в музыке французских спектралистов этот инструмент переживает второе рождение. Широчайший репертуар инструмента на сегодняшний день свидетельствует о его неисчерпанном потенциале.

---

<sup>4</sup> Автор многих песен Жака Бреля.

<sup>5</sup> Позволил сделать несколько аранжировок своих произведений (напр.: «Моя Матушка-гусыня» (*“Ma Mère l'Oye”*), струнный квартет, фортепианская сонатина).

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Ли Мэнхань.* Волны Мартено и терменвокс – «очеловеченные голоса» переменного тока // Вестник Академии Русского балета им. А. Я. Вагановой. 2025. № 4 (99). С. 110–124.
2. *Laurendeau J.* Maurice Martenot, Luthier de l'electronique, 1st edn. Montreal: Louise Courteau ed., 1990. 312 p.
3. *Акопян Л.* Музыка последнего десятилетия: теория и история. [Электронный ресурс]. URL: <https://hakobian-mlc.sias.ru/personalities/varez/> (дата обращения: 10.09.2025).
4. *Tvox S., Varese E.* Thereminvox. [Электронный ресурс]. URL: <https://thereminvox.com/stories/edgard-varese/> (дата обращения: 10.09.2025).
5. *Meïmoun F.* Entretien avec Pierre Boulez: Les années d'apprentissages (1942–1946) [Электронный ресурс]. URL: [https://www.musicologie.org/publirem/entretien\\_avec\\_pierre\\_boulez.htm](https://www.musicologie.org/publirem/entretien_avec_pierre_boulez.htm) (дата обращения: 10.09.2025).
6. *Tchamkerten J.* From Fête des belles to Saint François d'Assise: the evolution of the writing for Ondes Martenot in the music of Olivier Messiaen / C. Dingle and N. Simeone (Eds.) // Olivier Messiaen: Music, Art and Literature. London: Ashgate, 2007. P. 70–78.
7. *Boulez P.* Quatuor pour quatre ondes Martenot (1945–1946) [Электронный ресурс]. URL: <https://brahms.ircam.fr/en/work/quatuor-pour-quatre-ondes-martenot> (дата обращения: 10.09.2025).
8. *Madden D.* “Advocating Sonic Restoration: Les Ondes Martenot in Practice” // Journal of Mobile Culture. 2013. 07. 01. P. 10–20.
9. Olivier Messiaen: Music, Art and Literature / Dingle C., Simeone N. Eds. London.: Routledge, 2016. 384 p.
10. *Ferguson S.* Review of Models & Artifice: The Collected Writings of Tristan Murail // Contemporary Music Review. 2005. Vol. 24, No. 2/3. April/June. P. 115–120.
11. *Фархадов Р.* Пролог и эпилог Жерара Гризе // Играем сначала [Электронный ресурс]. URL: <https://gazetaigraem.ru/article/36890> (дата обращения: 10.09.2025).
12. *Loriod J.* Technique de l'onde électronique. Paris: Alphonse Leduc Publisher, 2005. 125 p.

## REFERENCES

1. *Li Menhan'*. Volny Marteno i termenvoks – «ochelovechennye golosa» peremennogo toka // Vestnik Akademii Russkogo baleta im. A. Ya. Vaganovoj. 2025. № 4 (99). S. 110–124.
2. *Laurendeau J.* Maurice Martenot, Luthier de l'electronique, 1st edn. Montreal: Louise Courteau ed., 1990. 312 r.
3. *Akopyan L.* Muzyka poslednego desyatletiya: teoriya i istoriya. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://hakobian-mlc.sias.ru/personalities/varez/> (data obrashcheniya: 10.09.2025).
4. *Tvox S., Varese E.* Thereminvox. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://thereminvox.com/stories/edgard-varese/> (data obrashcheniya: 10.09.2025).
5. *Meïmoun F.* Entretien avec Pierre Boulez: Les années d'apprentissages (1942-1946) [Elektronnyj resurs]. URL: [https://www.musicologie.org/publirem/entretien\\_avec\\_pierre\\_boulez.htm](https://www.musicologie.org/publirem/entretien_avec_pierre_boulez.htm) (data obrashcheniya: 10.09.2025).
6. *Tchamkerten J.* From Fête des belles to Saint François d'Assise: the evolution of the writing for Ondes Martenot in the music of Olivier Messian / C. Dingle and N. Simeone (Eds.) // Olivier Messiaen: Music, Art and Literature. London: Ashgate, 2007. P. 70–78.
7. *Boulez P.* Quatuor pour quatre ondes Martenot (1945–1946) [Elektronnyj resurs]. URL: <https://brahms.ircam.fr/en/work/quatuor-pour-quatre-ondes-martenot> (data obrashcheniya: 10.09.2025).
8. *Madden D.* “Advocating Sonic Restoration: Les Ondes Martenot in Practice” // Journal of Mobile Culture. 2013. 07. 01. P. 10–20.
9. Olivier Messiaen: Music, Art and Literature / Dingle C., Simeone N. Eds. London.: Routledge, 2016. 384 p.
10. *Ferguson S.* Review of Models & Artifice: The Collected Writings of Tristan Murail // Contemporary Music Review. 2005. Vol. 24, No. 2/3. April/June. P. 115–120.
11. *Farhodov R.* Prolog i epilog Zherara Grize // Igraem snachala [Elektronnyj resurs]. URL: <https://gazetaigraem.ru/article/36890> (data obrashcheniya: 10.09.2025).
12. *Loriod J.* Technique de l'onde électronique. Paris: Alphonse Leduc Publisher, 2005. 125 p.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Ли Мэнхань – соискатель ученой степени кандидата искусствоведения;  
403901578@qq.com  
ORCID: 0000-0002-0887-8075

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Li Menghan – Graduate Applicant; 403901578@qq.com  
ORCID: 0000-0002-0887-8075