



清华大学—紫荆谷创新创业发展辅导中心

## 创业家极速锻造研修班 (第四期)



# 2017

## 围棋与人类思维

葛玉宏围棋道场

---

---

---

---

---

# 逻辑模型/Logical model

## 背景

- 宏观： 在人工智能时代下，围棋思维被重新挖掘，世界重新涌现新一轮围棋热潮。
- 中观： 从儿童到成人，围棋爱好者越来越多，成人爱好者以从事商业者居多。
- 微观： 从2016年~2017年，中国围棋爱好者数量迅速增长500万~1000万。

## 目标

- 宏观： 在学习围棋的过程中，了解如何制定战略与目标，学会在混乱中把握正确的方向。
- 中观： 通过围棋训练创业者思维，帮助创业者养成缜密思考与长远思考的习惯与能力
- 微观： 在三节课后，能独立完成9路复盘(15~20步)，并能自行发现对弈过程中的问题;能完整的对弈十九路棋盘。

## 效果

- 形成围棋思维的惯性，运用在企业管理中
- 在学习围棋的过程中，会逐层溶解大脑固化的认知习惯，例如思考的维度从局部作战到全局的把控、提升计算思维的深度与广度、混乱局面下冷静清晰的判断、优势时过渡到胜局的策略、劣势时如何转败为胜的策略等
- 能提前预判创业初期、创业中期以及未来的发展方向，并作出相应的决断

## 输出

- 模拟企业管理某项目，运用围棋思维解决方案并进行记录
- 所有学员在围棋与计算思维过程中思维转变和提升的数据记录与呈现
- 所有学员在完整对弈后，自行记录棋谱保存。(DIY3D围棋棋谱纪念品)

## 过程

- 导师讲解与实战训练
- 课程内容
  - 1.围棋基本规则与基本原理
  - 2.围棋实战训练
  - 3.围棋思维在企业中的运用
  - 4.人工智能与围棋
  - 5.围棋与计算思维
- 在学员学习期间记录详细过程
  - 1.思维变化
  - 2.思维提升
  - 3.思维习惯养成过程
- 通过围棋实战训练进行思维过程交流

## 输入

- 围棋文化与历史
- 世界围棋背景与局势
- 围棋基础知识
- 围棋专业思维方法论
- 围棋思维-计算思维
- 围棋高阶理论
- 围棋-人工智能
- 围棋智慧与管理智慧
- 围棋相关软件与工具使用
- 围棋实战思维训练
- 围棋技术导师、围棋思维导师、围棋专业理论导师

## 外部因素

- 围棋较为艰深，专业术语较多，初期学习过程中，如能顺利转化为自己的思维形式，将会迅速进入围棋世界，提升思维能力。
- 学习过程中比如会有枯燥的计算训练环节，需要学员有持久的执行力，并保持专注

# 研发团队/our team

---



隋泽翔

业余7段

葛玉宏围棋道场  
围棋教育教学研究  
课程研发



高高

欧洲业余7段

葛玉宏围棋道场  
围棋教育教学研究  
课程研发



吴静

业余2段

葛玉宏围棋道场  
围棋教育教学研究  
课程研发



黄晓威

葛玉宏围棋道场 市场主管  
围棋教育教学研究顾问  
研发报告起草与编纂



韩晗

职业五段

葛玉宏围棋道场 围棋教练  
围棋教育教学研究顾问

# 围棋与围棋思维

---

## 围棋的起源



围棋<sup>1</sup>是一种抽象策略游戏<sup>2</sup>，是世界上最古老的棋类运动之一，最早起源于中国。推测起源时间为大约公元前6世纪<sup>3</sup>。传说尧的儿子丹朱顽劣，尧发明围棋以教育丹朱，陶冶其性情<sup>4</sup>。目前围棋的最早可靠记载见于春秋时期的《左传》<sup>5</sup>，战国时期的弈秋是见于史籍的第一位棋手，最早的围棋文物可以追溯到战国时期<sup>6</sup>。汉朝时棋盘为17路，南北朝时候，棋盘定型为现在的19道棋盘，传入朝鲜半岛，并且出现了评定棋手水平的围棋九品制<sup>7</sup>。围棋逐渐成为中国古代知识阶层修身养性的一项必修课目，为“琴棋书画”文人四艺之一。

## 围棋不止是棋盘游戏

围棋规则<sup>8</sup>简洁而优雅，但玩法却千变万化，其复杂度已于1978年被Rberts与Mur证明为PSPACE-hard<sup>9</sup>，即比所有NP问题还要难的计算问题<sup>10</sup>，它真正体现的是计算思维。国际象棋大师伊曼纽·拉斯克<sup>11</sup>称赞说：“如果在宇宙中的其他地方存在智能生命形式，他们几乎肯定会下围棋。”

# 人类的思维

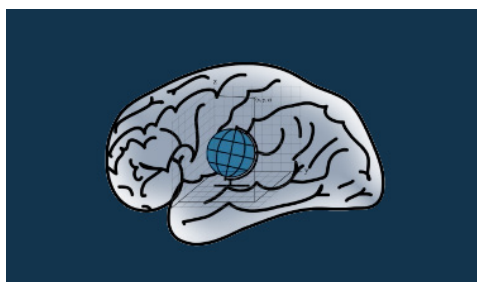
人脑的思维活动总是构建在下述 3 个空间上的：

知识空间、直觉空间、潜意识空间<sup>12</sup>

人们处理问题（特别是复杂问题）时，首先是凭感觉认为问题的解决应该从哪里入手，这里的“感觉”牵涉到直觉空间，然后人们利用知识空间里的知识体系，力图逻辑地合理地演绎出问题的“答案”。人们在知识空间中的思维活动，常常与直觉空间、潜意识空间中的思维活动交织在一起。人们思考时，直觉空间和潜意识都不时地左右人们思维进程和方向。

在知识空间里人类可以对储存的知识进行理性的推理计算，人们的思维活动是逻辑的，逻辑推理智能在该空间上的作为，实际上是将其投影到另一空间或者说是重叠于其上实现的，这一空间便是直觉空间；在潜意识空间里，虽然人类思维出现随机、混沌现象，但在整体上仍是属于人类的理性活动，所以总能在

与之联系的直觉空间里，找到“确定性”的概率方式进行，也就是说直觉空间的作用就是在潜意识空间和知识空间之间建立联系，即提供算法。



## 什么是 围棋思维？

围棋思维是一种复杂的衍生思维，是一种建立在某种特定的情境下，所形成的多层维度去衡量、判断、取舍并不断迭代、切换思想的过程。

01

从双方第一步棋开始到终局结束，每一步棋的价值，是逐步递减的过程，就像双方抢地盘和资源，总是越抢越少的，所以面对对手抛出来的“难题”，需要运用围棋的思维方式以应对，这个思维方式是多层面的。

02

在棋局的初期阶段，思想很随机，

棋子与棋子之间的关联性很小，是一个展示宏观思维的“舞台”，它的可能性有无限种，这层思维，结合了各个维度的思想结晶，抽象而不失具体。

03

另一阶段，形成在某一特定的情境之下，是发散式的逻辑思维，

需要想到对手在这过程中任何可变的因素以及对手可能的应对方式，其背后又引出很多个可能应对的“分支”。

04

根据这些所有可能的应对以及其复杂的分支变化做出衡量与决策的过程就是围棋思维，

它是缜密的，也是多维度的。

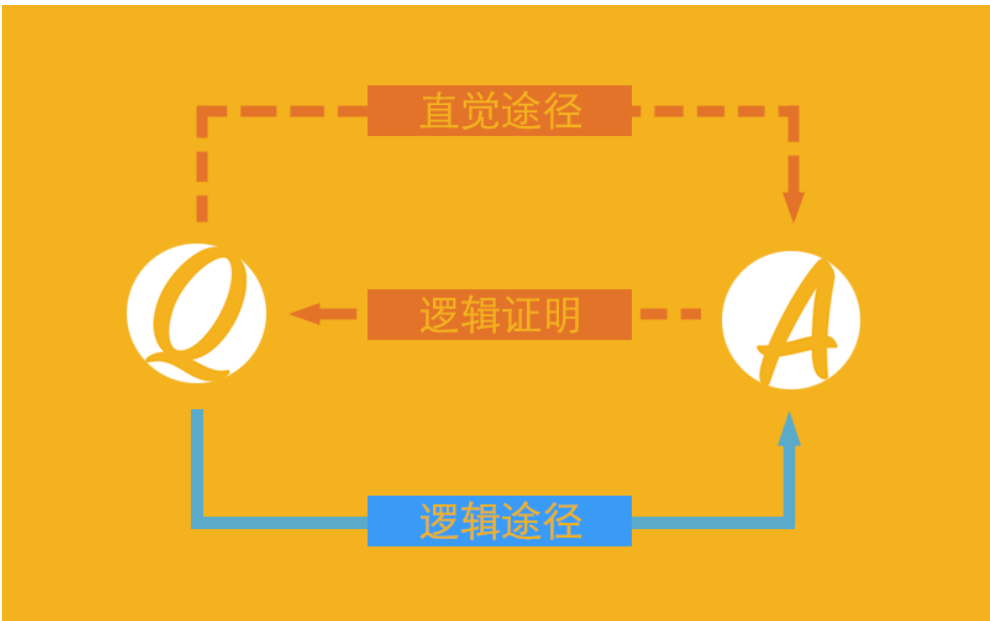


# 1.5 人类思维与围棋思维的联系

围棋思维的实质就是人类大脑的一系列思维活动，对弈双方的每一步棋都体现着人的思维过程。

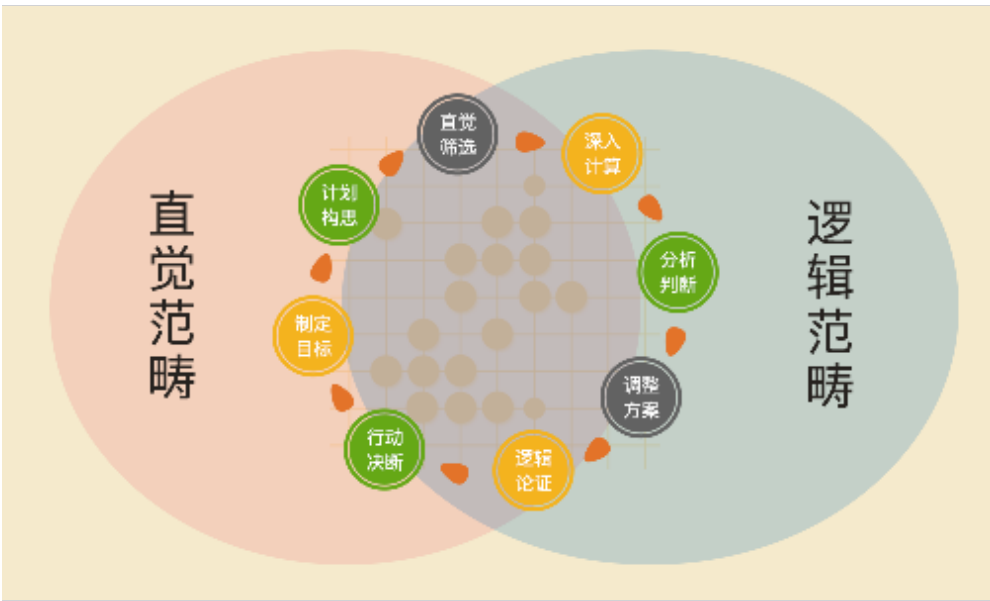
在对局开始阶段，每一步棋的可能性都是无限的，具有一定的盲目性，它引导着棋手摸索前进，在空白的棋盘上占领属于自己的资源，即创造自己的领地。此时，思维不是聚焦在逻辑点上，而是散布在整个知识空间所依赖的潜意识空间上，并在其上作随机运动，这种随机运动是直觉空间所提供的随机推测算法，通常是盲目地、潜在地转换思考点，具有某种创造性功能<sup>13</sup>。

当资源被占尽，对弈双方已经无法再继续创造自己的领地时，对局便进入了需要通过具体计算一较高下的阶段。也就是说，在潜意识中酝酿出来的布局形态，最终需要利用知识空间里的知识体系，在复杂的分支中做出逻辑的、合理的决策。与此同时，由于复杂分支的多样性和不确定性，直觉空间和潜意识也在不时地左右思维进程和方向。



人类思维

从前提Q到结论A，既可以通过直觉途径，也可以通过逻辑途径，但在人们解决问题的过程中，常常是先“直觉”，后“逻辑”<sup>14</sup>。



围棋思维

直觉与逻辑的结合

# 围棋思维的范畴

围棋思维需要调动人脑的各种思维能力，整局棋的演变也是人类大脑思维过程的体现。纵观整盘棋局，在运用围棋思维的过程之中会涉及感性和理性这 两大思维支柱，以直觉思维与逻辑思维相结合的方式诠释围棋思维的全部与 风采。

## 围棋的感性思维

感性思维的建立，是从混沌感性到清晰感性的整理过程。所谓混沌感性 是指认识建立在感觉基础上，以意识片段为形式的世界描述，此时的认 识描述知识断裂受限的有限认知，并且是多意识的分离结论。对世界的人事处在无法定义和理解的人事搜集阶段<sup>15</sup>。

围棋中的感性思维，也是基于这一原理。每一局棋，都是一个营造的过程，子与子在棋盘上不断增多，从初期抢占资源过渡到接触战，这之中 会形成无限种棋型，如何处理好棋型，不完全是通过计算、逻辑就能够 直接分析出解答的，不同人对棋型、棋感的理解不同，这与感性、图像 认知有着密不可分的联系。感性思维是围棋思维中很重要的一部分，从 某种意义上来说，它是最具有人类特色的一种思维方式。

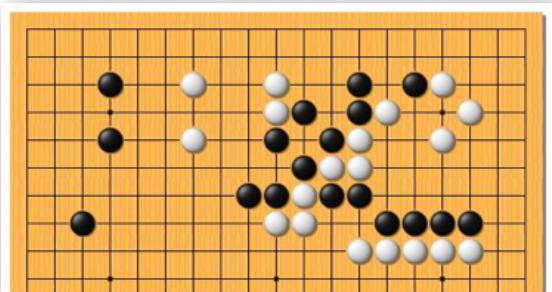


图1：此时轮黑棋行棋，当我们看到此局面时，大脑会先进行图像扫描，然后迅速从混沌感知进入到清晰感知状态。

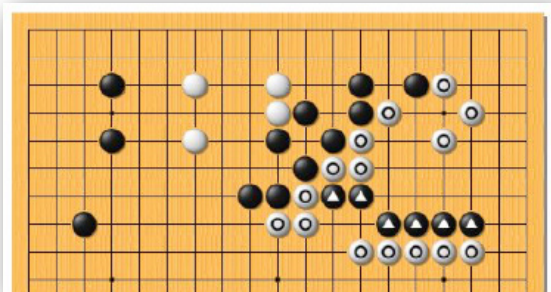


图2：这时会意识到，△位黑子与○位白子是此局面的焦点，思维聚焦在此。

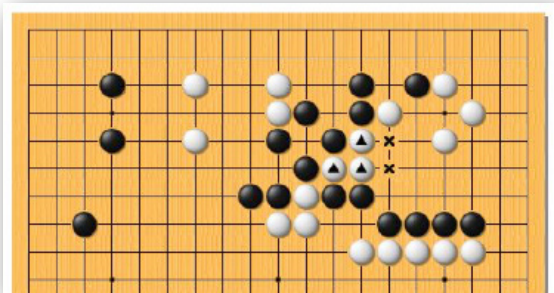


图3：初学者通过分析判断，可以发现△位三子只有X位两口气，气最少，所以将成为黑棋的目标。但经过长期训练的棋士会迅速感觉到白三子的重要性，这是通过长期逻辑思维训练的积累所形成的高级直觉。

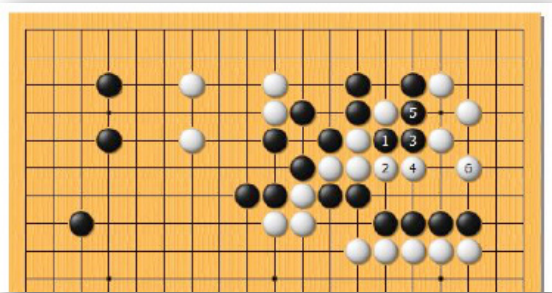


图4：接下来对目标实施具体手段，黑1的走法非常直接，是未经过逻辑思维建立过程的一种直觉体现，直到白6，黑棋失败。

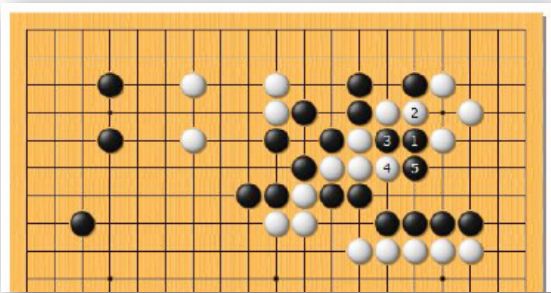


图5：黑1的下法非常含蓄，但至黑5为止，成功吃掉白子。黑1是经过历过长期的计算思维训练与逻辑思维训练所产生的高级直觉。这整个思维过程非常迅速，大约在2秒~3秒的时间。能迅速呈现出的高级感知思维背后，是深度逻辑模型的支撑。



# 围棋的理性思维

理性思维是一种有明确的思维方向，有充分的思维依据，能对事物或问 题进行观察、比较、分析、综合、抽象与概括的一种思维。理性思维是一种建立在证据和逻辑推理基础上的思维方式<sup>16</sup>。

围棋中的理性思维是围棋思维中最不可或缺的思维方式，一局棋从初 局开始，每一步棋都离不开理性的思维，人脑在棋盘面前，像一台计 算机一样，要用理性的思维方式进行理性思考，完成对每一可能“分支”的观察、分析、计算、推理、筛选。在遇到复杂难解的局面时，通过严谨 的理性思维把这道“难题”分析解答出来。

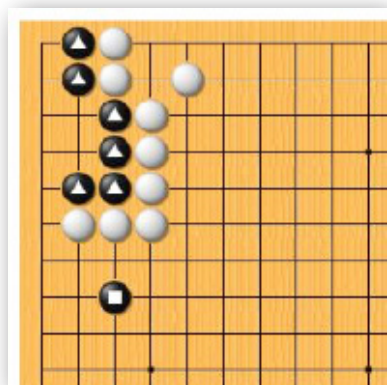


图1：此型中，白棋的目标是将黑△位棋子攻陷，同时需要考虑口位一子的影响。

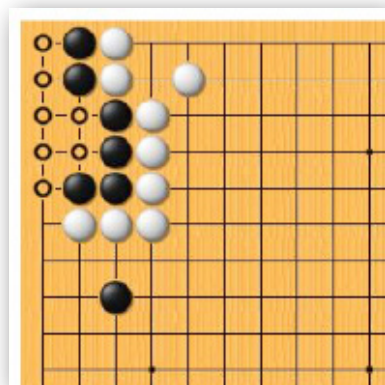


图2：目前白棋可选择的下法共有○位7个选点，在不使用直觉思维的情况下，我们需要做详细的推算。

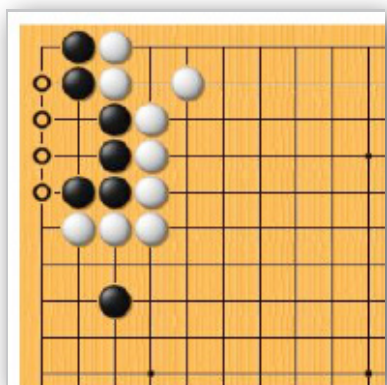


图3：大脑会经过第一次筛选，最终有四个选点可行性最高。

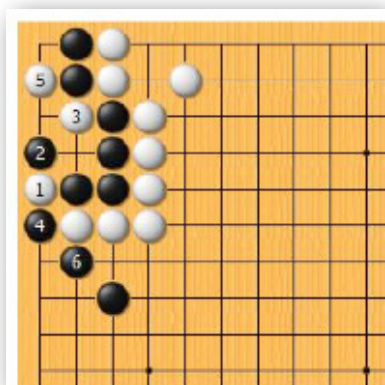


图4：我们从四个选点中的第一个开始进行计算，至黑6为止，黑棋与外部棋子连接逃跑，白棋失败。

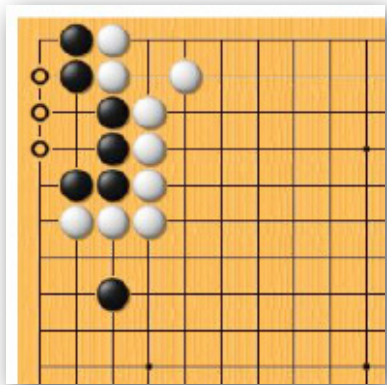


图5：排除上图不成立的选点后，还剩余三个选点。

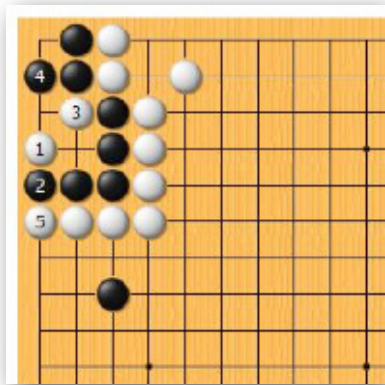


图6：继续推算第二个选点。至白5为止，白棋成功攻陷黑棋。整个计算过程是在大脑中进行，当推算成功后，白棋方可在棋盘上落子。

## 围棋的直觉思维

直觉就是一种跃进式的思维，其整个思维过程是在极短的时间内完成的，以至于难以用逻辑思维的语言来逐步加以分析与表述，结果往往是正确的，道理却又说不出。在直觉思维过程中，大脑中长期储存的各种“潜知”都被调动出来，通过非逻辑的方式进行组合，形成一种新的突破常规式的联系，在科学发现中往往导致一种创造性的结论<sup>17</sup>。围棋中的直觉思维也是建立在一定“潜知”之上的，直觉思维是围棋思维中必不可少的一种思维模式，在棋局的初期阶段，是双方构架的过程，在整个布局阶段之中，双方通过合理的思维确定行棋方向，然后在这个基础之上进行创造，这个创造的过程，叫做围棋的直觉思维。

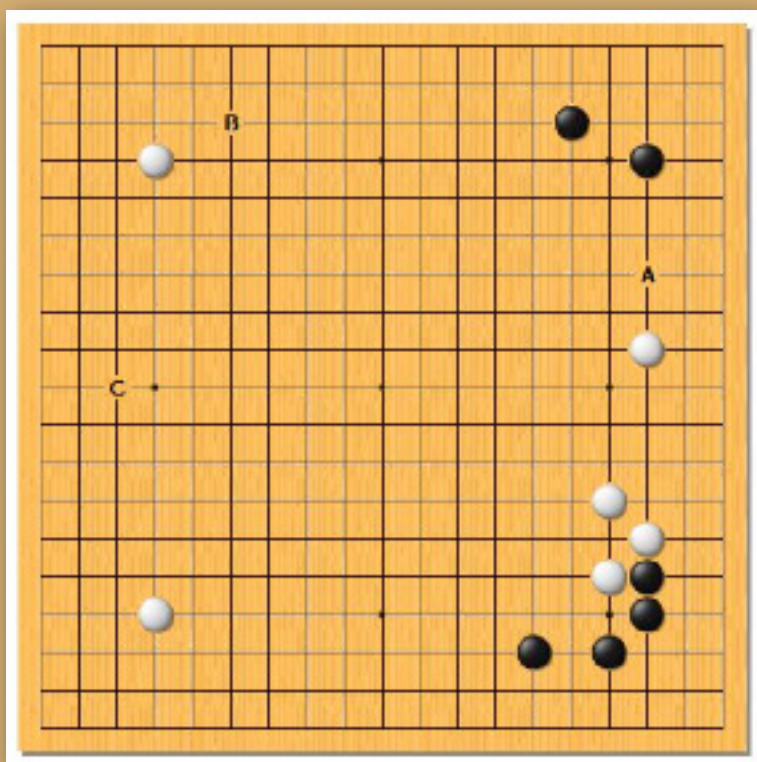


图1：在此局面下，有A、B、C三个选点，黑棋需要进行选择。但不论哪个选点，在人脑的能力范围内，并没有绝对的优劣，只能归结为不同的行棋风格，类似此种情况，直觉思维占据的比例更多。

## 围棋的逻辑思维

逻辑思维是思维的一种高级形式，是指符合事物之间关系的思维方式，也是一种遵循传统形式逻辑规则的思维方式。只有经过逻辑思维，人们对事物的认识才能达到对具体对象本质规律的把握，进而认识客观世界<sup>18</sup>。概念——判断——推理的过程符合人类对客观事物认识的发展过程，人们的正常思维离不开这样的格局，离开了也就无法思维了<sup>19</sup>。围棋中的逻辑思维是很具体的，通过缜密的逻辑推理把复杂多样的局面抽象出来后进行判断以及推理。在“直觉的创造”结束后，棋局就进入到需要通过策略一较高下的局面。来到这种局面，对手抛出来的“难题”会接踵而至，而每一步棋背后，都需要大量逻辑思维的推理解决掉无限分支背后的分支，一个无限散发又聚首的逻辑思维推理过程，就是围棋中的逻辑思维。

# 围棋

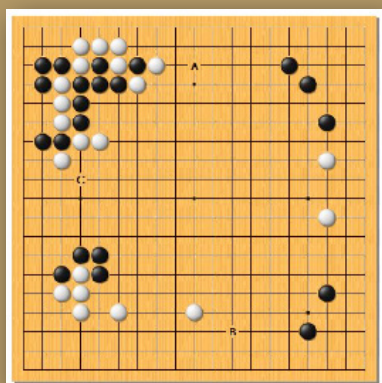


图1：此局面黑棋有A、B、C三个选点，需要在大脑中进行逻辑思维的过程，才能确定最终选点。

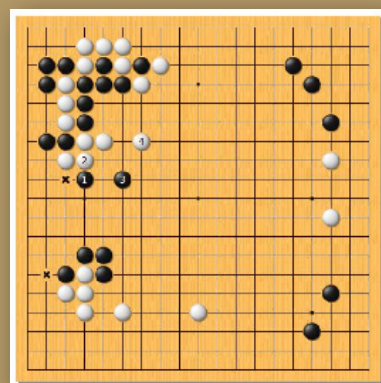


图2：如果黑棋先选择进攻左边白棋，白4位出逃，因X位两处白棋都可进入黑棋的领地，黑棋认为此时进攻收获不大，会继续思考下一个选点。（以上为主观的思考过程，可忽略着法本身是否高明）

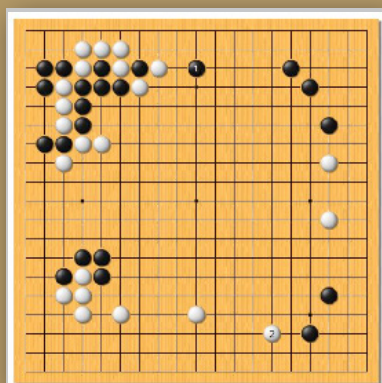


图3：若黑棋选择占据上方领地，白2则选择占领下方领地，相比之下，黑棋判断后认为下方价值也不小，如果黑棋选择下方的领地呢？

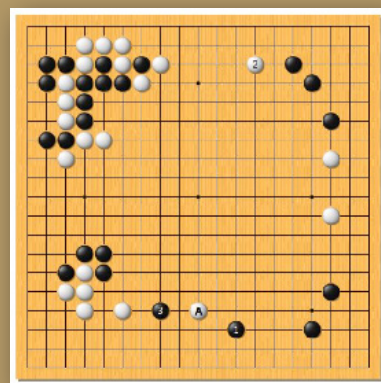


图4：若黑棋选择下方，不仅占据了下方领地，同时还抑制了白棋潜在的领地（图3白2位），黑3后，还可以继续进攻白A位一子。至此，黑棋再次回顾之前的选点，进行对比后，认为本图黑1可行，最终进行落子。在对弈的过程中，根据不同局面，对局双方会经历各种思维相互穿插与转换的过程。



# 围棋的计算思维

## 3.1 围棋思维的核心

围棋思维的核心是计算，就是计算思维。围棋当然不单只包括计算，但一位棋手对每一手棋的反应与理解到最终应对都要基于计算思维进行逻辑分析与判断的，或者基于长期计算思维的“计算”获得的经验而产生的结果。可以理解为：计算思维是解决问题的核心基础。在复杂的围棋局面中，无时无刻不需要计算思维的支撑，计算思维是一切思维的基石，在此基础之上，才有其它思维的延伸。

## 3.2 围棋计算思维的概述

人脑计算思维是一个多步骤、复杂的逻辑思维过程<sup>20</sup>，把一个看起来困难的问题重新阐释成一个我们知道怎样解决的方法，是一种递归思想，是一种多维度分析检查方法，是一种采用抽象和分解来控制庞杂的任务或进行巨大复杂系统设计的方法<sup>21</sup>。试想一下这些事件：“当气温高于20度，打开空调”，“当演讲人上台时，调亮灯光”，“需要先打开折叠椅，然后才能坐在上面”这些都包括了计算思维。也就是说计算思维是与我们的生活紧密相连的，人人都有计算思维，人人都需要计算思维。

围棋计算思维就是将我们生活中用到的所有“计算”全部嵌入在整个棋盘之中，也是一个深度思维计算的过程，一个看似简单的棋型，其背后有大量的计算和博弈。大脑通过计算之后，进行筛选，选择出最优的变化，整个计算加最优处理的方式与过程，就是围棋计算思维的主要感念。





### 3.3 围棋计算思维的呈现 ——连续的拓扑空间

围棋计算思维是一个极具复杂性的多分支多变化及多重可能性的连续性思维集合，它涵盖了对手所有可能回击的招法及应对措施，是一个先发散再聚首的思维过程。

当进入围棋计算思维的模式时，自己的任何一步招法背后都存在对方 $N$ 个可能会应对的招法，即 $N$ 的集合； $N$ 个当中的每一种可能背后自己方也会有 $n$ 种应对的措施来解决，即 $n$ 的子集。解决以后又会有来自对方某一个 $N$ 里面的分支引申出来的 $n'$ 个招法，这个过程会在接下来一直放大，是一个计算不断发散的过程，到了某一时刻，这个发散的思维会形成聚首，它不是永远无限性的，在某一时刻会看到终点，但这一终点在哪一时刻出现，又是通过对哪一支的何种计算而出现的，是一个极其复杂的、连续的、可视为无限的计算思维过程，它会体现在你下的每一手棋当中。

### 3.4 围棋计算思维的呈现 ——无限的计算维度

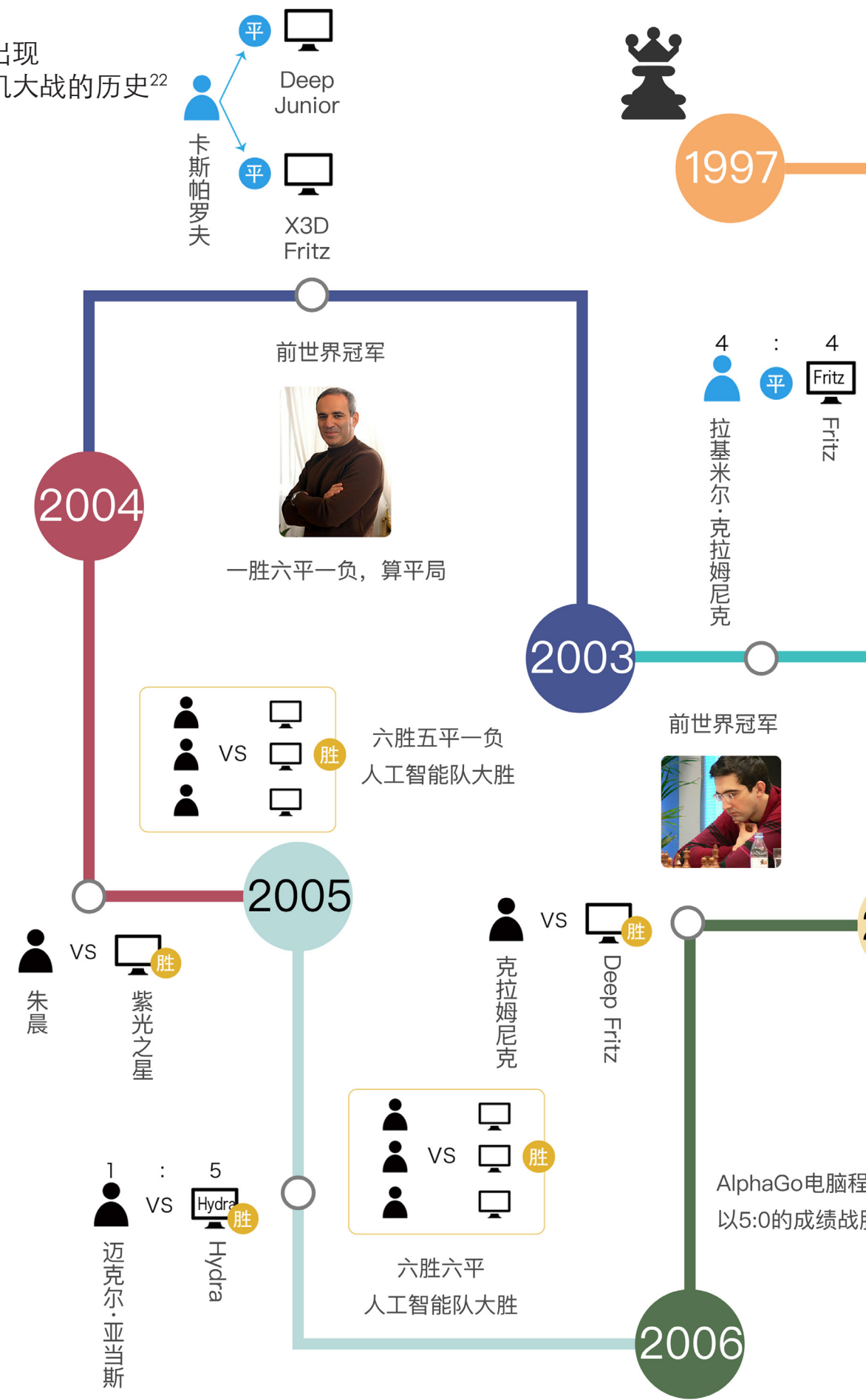
围棋计算思维的维度是无限的，但大致可以分为三类。第一类可以称为局部维度，就是通过推理、筛选等直线计算在某一局部得出最优解。但做出的这个最优解否可以获得很高的价值是未必的，这就提升到了第二类维度，我们称其为价值维度，这一层的计算思维是跳出局部本身来计算价值。第三层维度是最高一层的维度，它是站在全局的角度来对比价值后进行判断筛选和最优排序的计算。

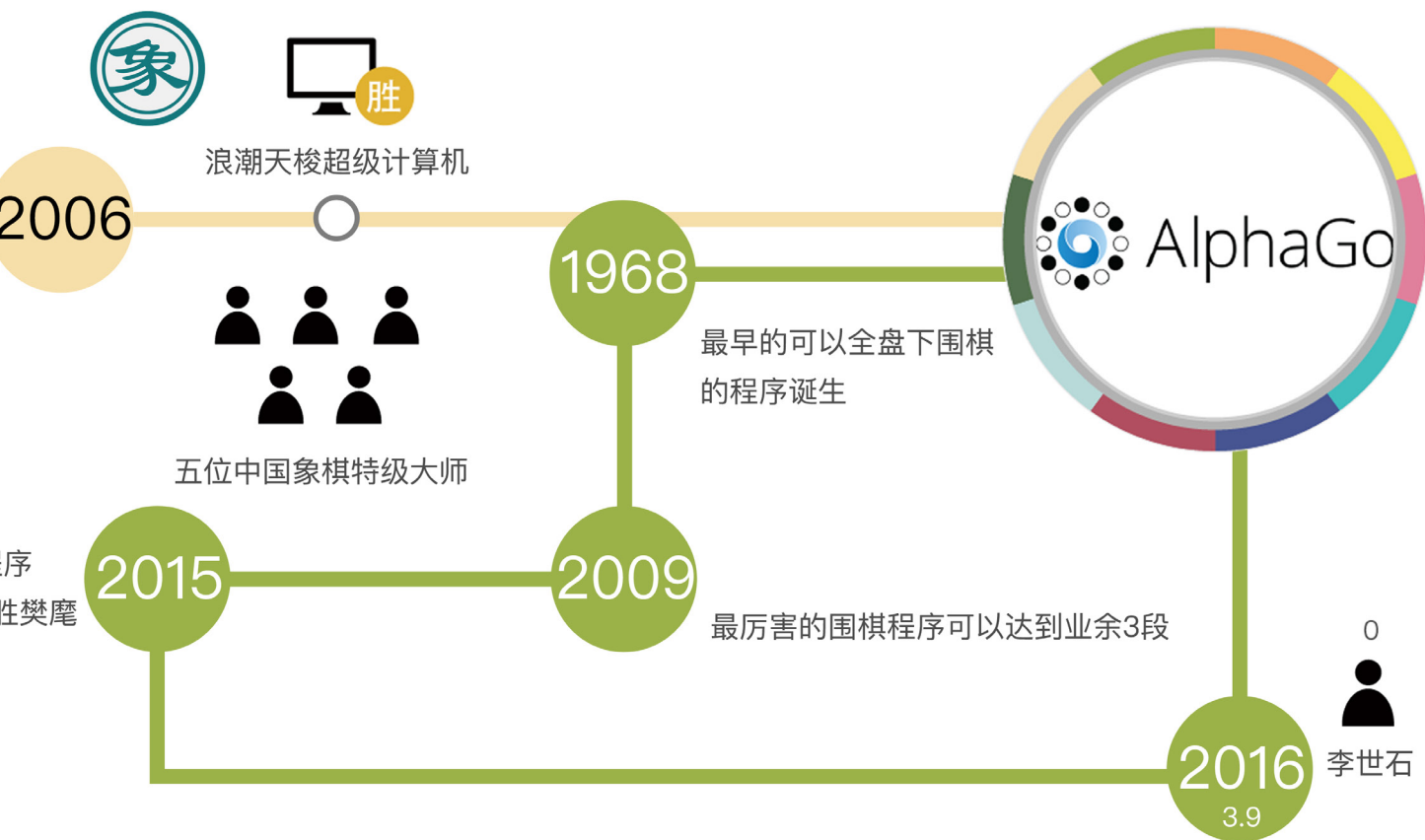
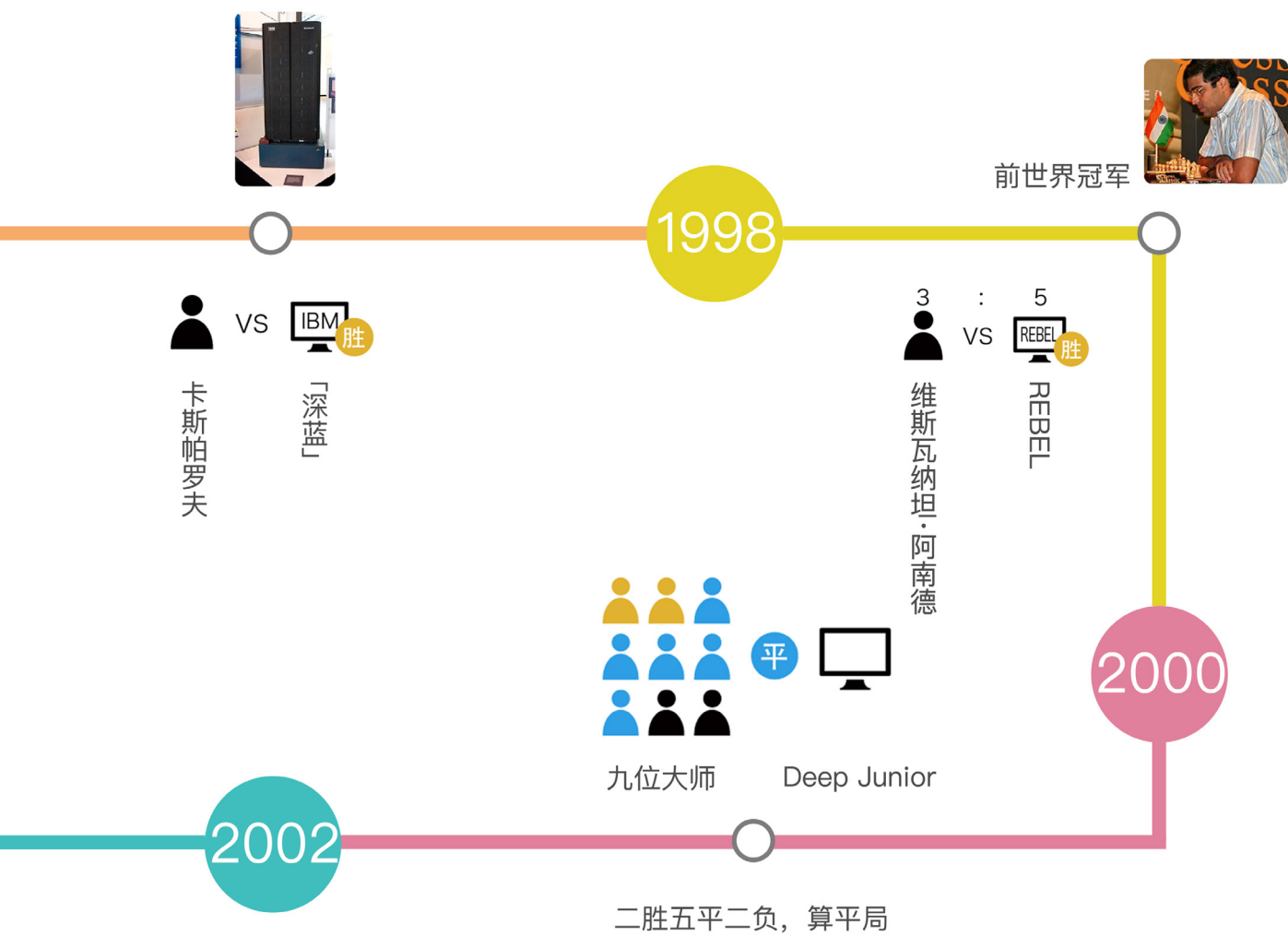




# 围棋与人工智能

## 4.1 AlphaGo的出现 ——人机大战的历史<sup>22</sup>





## 4.2 围棋人工智能的算法演变

要了解围棋人工智能的算法演变首先要理解为什么把围棋比作人类最后的智慧堡垒？第一，变化太多，搜索难度大。围棋的具体变化数字有多大是不可想象的，每一步都有几万种走法（several hundreds），而下一步又有几万种……由此形成的排列组合，对于传统的计算机或人工智能而言是无解的<sup>23</sup>，需要有直觉思维，以减少搜索范围。第二，价值规律描述困难。在棋局的初期阶段，棋子与棋子之间的关联性很小，好坏难以判断，需要进入具体计算阶段才能做出逻辑性的证明。也就是说，不走到决定性的一步很难衡量之前尤其是棋局初期阶段的每一步对最终输赢的影响。

因此，通过穷举搜索这种传统的计算机方法是无法攻克围棋的，直到Google DeepMind研究制造出AlphaGo<sup>24</sup>才真正的开创了围棋人工智能。在AlphaGo 1.0阶段，围棋人工智能的主要算法为蒙特卡洛树搜索（判断价值）+监督学习+增强学习；到了AlphaGo Master即AlphaGo 2.0阶段，Google公司直接放弃了监督学习，没有再用人的3000万局棋谱进行训练，同时也放弃了蒙特卡洛树搜索，不再进行暴力计算而是极大地强化了学习的作用，让AlphaGo拥有了创造力。

## 4.3 围棋人工智能的强化学习

“AlphaGo Mater使用更加有效的算法，所需的计算量是AlphaGo的1/10。”

“我们让AlphaGo自我对弈，也就是通过强化学习，生成大量数据，训练下一代的AlphaGo。这时，策略网络就使用它自己生成的数据，在不进行任何搜索的情况下，自己训练自己得出最强大的走法，由此得出了目前最强大的策略网络。”

——AlphaGo的强化学习<sup>25</sup>

从AlphaGo的强化学习中可以看出，围棋人工智能是在运用计算思维将围棋这一复杂“问题”进行分解，将其递归为简单化、抽象化、逻辑化且可操作的任务从而进行自我分析和检查，既充分利用计算机的计算和存储能力，又不超出计算机的能力范围。

## 4.3 围棋人工智能的强化学习

直觉和创造力是以计算思维为基础的，能够被计算和逻辑推理出来的才是真正的直觉，它是思维的产物而不是无端的臆想和猜测。围棋人工智能不仅在不断地进行着计算，更是在有效地运用计算思维，这就使得它从开局起对每一步的直觉判断都高于人类。

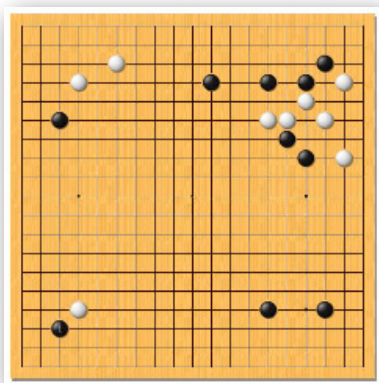


图1：黑1是 AlphaGo的手笔，此着一出，惊世骇俗，它完全打破了长久以来人们心中固有的棋理认知。然而实战的进程证明了这步棋的合理性，促使人们开始反思。对于人类，黑1是充满创造力的一着。

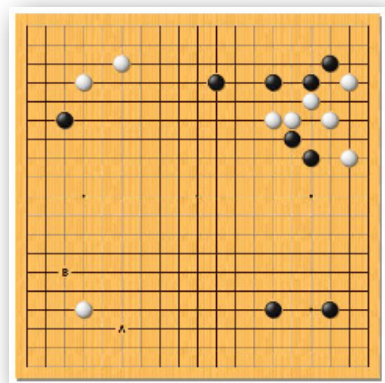


图2：A与B是此局面下棋手们通常的认知，因为根据棋理，布局要把棋子下在宽广的地带。而实战的下法，人类首先从直觉上就排除掉了。

# 围棋思维的应用

围棋思维就是人类思维的“缩影”，用围棋思维去思考、去计算能够有效地帮助我们做出最优决策。

在进行创新时，围棋中的创新思维会引导你如何做出真正的创新。正如上文“4.4人机大战的启示”中所举例子，机器在对弈过程中进行的创新是经过逻辑计算反复学习和判断得来的，这种最终能被论证和证明的创新才是真正的创新，是构筑在逻辑思维之上的、基于背后强大的计算思维的创新，运用这样的思维才能完成真正的突破。

在面对风险时，围棋当中的全局思维能够帮助你提前预判风险的存在，将机会成本降到最低。一局棋从始至终，无时无刻不在进行着整体考虑以及对“战场”的创造和利用，如何预判一步棋、一个局部的得失？如何从大局出发，牺牲局部利益以获取全局胜利？用缜密的围棋思维进行机会成本计算，多层维度考量，才能更高效地解决风险管理的问题。

所以说，围棋思维的价值远远超出了围棋本身，它与政治战略，军事战略，企业战略完全相通，具有高度的指导意义。如何运用围棋思维，才是学习围棋的真谛，才是围棋教育的意义所在。

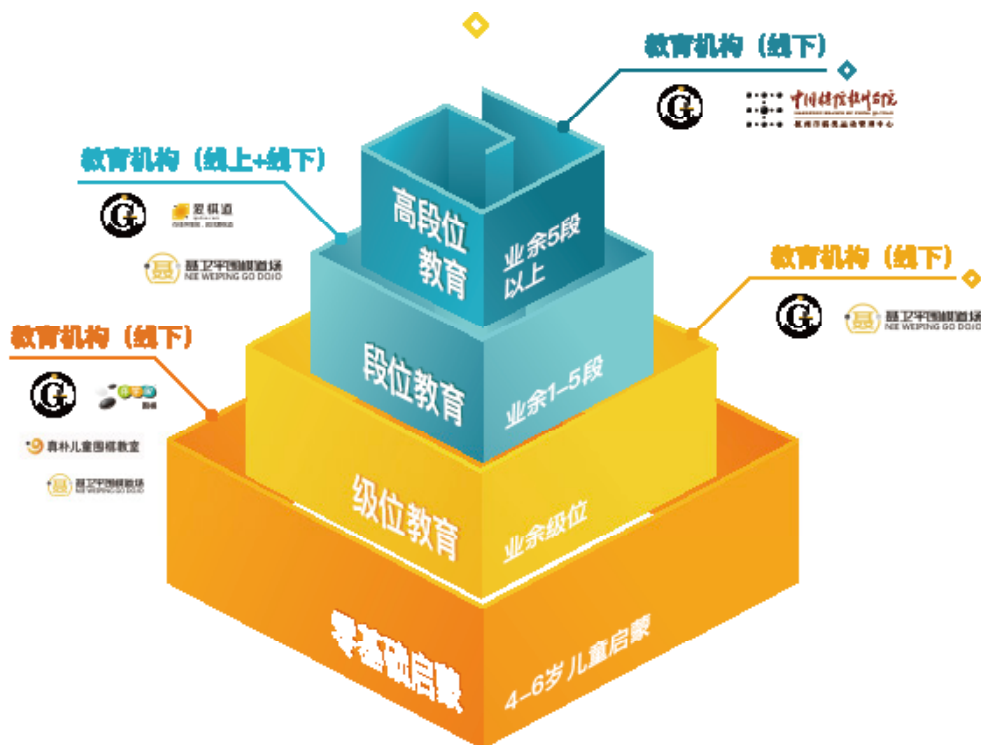
## 5.1 计算思维开发与教育

计算思维就是一种能够把问题及其解决方案表述成为通过计算工具进行信息处理的形式化思维过程<sup>26</sup>。从思维构成要素来看，算法分析、程序设计、数据处理、信息系统等概念是构成计算思维的基本要素，如果没有这些概念做基础，有系统的计算思维活动也就无从产生。但是，计算思维的教育并不是让学生孤立地接受这些概念，更强调在活动过程中引导学生体验、领悟和建构不同层次的概念，形成一种独特的认知方式<sup>27</sup>。

也就是说怎样让计算思维这种抽象的概念和原理变得能够在真实活动中被实践和被应用是实现计算思维开发与教育的关键。通过对围棋及围棋思维的分析以及围棋人工智能的成功恰恰验证了围棋即是把“问题”抽象为形式化后的表现工具本身又是运用计算思维和不断运用计算思维学习的过程。

## 5.2 围棋教育行业结构现状

围棋的教育结构是一个从业余兴趣向职业选手攀升的“金字塔”，是一条从兴趣培养走向职业化教育的狭隘道路。由中国棋院组织编写的《中国围棋年鉴》中估算在2009年中国围棋人口达到约2500万人；2014年6月份，我国有3000万人左右的围棋人口，其中注册职业棋手421人，业余围棋选手约为970万人，围棋爱好者约为2000万人。可以看出，将围棋教育作为幼儿启蒙教育及素质教育的一部分，以兴趣爱好拓展为主要方向，才能使围棋教育行业真正市场化、规模化。



## 5.3 围棋教育的未来

会下围棋的外国著名科学家，据说有诺贝尔经济学奖获得者、数学家约翰·纳什，计算机科学创始人之一图灵，物理学家爱因斯坦等。围棋的一个棋局可视为由更小的棋局所组成，这一点，据说对组合博弈论的创始人、现任教于美国加利福尼亚大学伯克利分校的数学家Erwin Berlekamp很有启发。还有人认为，数学中“超实数”概念的诞生，也与围棋有关。

围棋教育的未来并不是照本宣科地传授围棋知识，也不是要训练“选手”，而是进行思维训练。很少有其他学科像围棋一样能带来如此全面性的、直观性的思维训练效果。

## 参考文献

1. 围棋，维基百科，最后修订于2017年7月10日
2. 抽象策略游戏，维基百科，最后修订于2013年5月6日
3. 围棋史，维基百科，最后修订于2017年6月25日
4. 张华《博物志》说，“尧造围棋以教丹朱。”《史记·五帝本纪》：“尧知子丹朱之不肖，不足授天下，于是乃权授舜。”
5. 《左转》，维基百科，最后修订于2017年5月5日
6. 古中山国考古出土疑似“围棋”
7. 围棋九品制，维基百科，最后修订于2017年5月26日
8. 论世界围棋规则的统一——卫京伟、暴威
9. ROBERTSON,E. AND MUNRO,I. 〈NP-COMPLETENESS, PUZZLES, AND GAMES〉 UTILITAS MATH., 1978, 99-116.
10. 未来数学家的挑战——杨照崑、杨重骏
11. 伊曼纽·拉斯克，维基百科，最后修订于2017年6月13日
- 12/13. 拟人类思维的形式结构模型——王蓁蓁、邢汉承
14. 论直觉思维与逻辑思维的相互关系，李志昌，楚雄州委党校，云南楚雄675000
15. 混沌感性，感性思维，百度百科
16. 理性思维，百度百科
17. 论直觉思维在科学发现中的作用及其培养策略——杨颖春，硕士学位论文
18. 释义，逻辑思维，百度百科
19. 论逻辑思维——孟文静，硕士学位论文
20. 人脑不同计算思维方式的功能定位研究——王明时、王力群、李岳峙、王学民
21. 计算思维，维基百科，最后修订于2017年1月5日
22. 人机大战历史回顾，《财经》



23. DAVID SILVER (ALPHAGO团队技术负责人), 乌镇人工智能峰会, 2017年5月

24. DEEPMIND.COM

25. ALPHAGO MASTER最新架构和算法, 谷歌云与TPU拆解

26. JEANNETTE M. WING, COMPUTATIONAL THINKING: WHAT AND WHY, 2015-08-10

27. 计算思维教育:从“为计算”到“用计算”——李锋, 王吉庆, 华东师范大学 开放教育学院, 上海 200062



## 清华大学—紫荆谷创新创业发展辅导中心

BAUHINIA VALLEY

为深入推动“大众创业、万众创新”，配合国家“十三五”规划提出的“支持港澳中小微企业和青年人在内地发展创业”和“支持内地与港澳开展创新及科技合作”，2016年4月，由香港中国商会牵头，经纬集团发起并联合多家香港和海内外华侨华人相关商协会成立“紫荆谷发展中心”，得到香港各界和国家有关部门的大力支持以及国家11所顶尖高等院校的全方位合作。

## CONTACT US

指导老师：顾学雍  
排版设计：王瑞之 王梓耘



Address

清华大学  
iCenter



Telephone

15011058308



E-mail:

ab.iverson@qq.com