

矿井支护论文集

王继良等 编著

煤炭工业出版社

3

TD35-53

1

3

矿井支护论文集

编辑委员会

主任：王继良
副主任：王吉才
委员：顾则仁 李先才 汤向南
刘忠良 戴长春 王志刚
潘德珑

煤炭工业出版社

内 容 提 要

矿井支护是一项综合性的科学技术。本书从不同角度，通过不同的实践经验和不同的专题研究，论述了支护领域里的理论、问题和实践成果。本书收集的文章都是近年来的专项总结，可供从事矿井支护工作的人员学习、应用。

责任编辑：孙金铎

矿 井 支 护 论 文
王 继 良 等 编 著



煤炭工业出版社 出版
(北京安定门外和平里北街21号)
北京京辉印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

开本 850×1168mm^{1/32} 印张 11⁰/₁₆

字数 297 千字 印数 1—1,065

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

ISBN 7-5020-0371-1/TD·338

书号 3169 定价 5.00 元

目 录

矿井支护是综合性的科学技术(代前言)	1
全长粘结式锚杆的加固作用分析	8
井巷围岩的补偿支护理论	20
阜新矿区采煤工作面矿压显现与顶板管理	57
交岔点的设计改进	71
巷道围岩状态和支护理论探讨——兼论软岩巷道支护	78
锚杆在徐州矿区的应用与发展	87
矿井深部巷道支护方式的探讨	93
锚杆种类与选择	105
对锚喷支护有关设计与施工方面几个问题的探讨	111
井下松软岩层支护——管缝式摩擦锚杆的应用	125
回采巷道锚杆支护的作用及其参数	134
超前围壁锚喷支护——防止巷道掘进冒顶的新技术	142
软岩支护	150
从转子型混凝土喷射机橡胶板的磨损机理探讨提高其使用 寿命的途径	190
新型的树脂锚杆灌注机具	200
冠山矿主立井井壁喷射混凝土质量超声波检测研究报告	208
轻型转子Ⅳ型混凝土喷射机的设计	225
采区巷道设计必须适应巷道围岩“弹动反应”	238
U型钢支架的进展——多铰U型钢支架的设计与试验	249
斜梯形可缩性支架的试验研究	266
提腿式液压支架	284
阜新矿区综采工作面液压支架的使用状况及合理选型	294
阜新平安二井巷道矿压显现特征及U型钢环型支架的应用	308

新安矿 10 号煤层一次采全高综采设备的选型计算	320
液压支架结构设计分析及有限元计算	329
高地压中厚煤层顺槽采用“锚、背、支”联合支护沿空留巷的研究与试验	337
井巷工程光爆锚喷支护经济效益浅析	351
单体液压支柱的“回弹区域”、“溢流区域”及在采场支护中的作用	360

矿井支护是综合性的科学技术（代前言）

教授级高级工程师 王继良

采掘工业一个重要的组成部分是矿井支护。千百年来煤炭开采几乎全部以木材作为矿井巷道及采煤工作面的支承材料，不仅耗用大量木材，而且不能适应矿井自然条件的需要，作业安全上也经常受到威胁。随着科学技术的发展，以及大量实践证明，矿井支护是涉及采矿工业的安全、速度、效率、消耗（特别是木材与钢材的大宗耗用）、以及成本与采掘机械化的大事。

60年代初在矿井中开始采用了非木材的材料及制品作为支护手段。当时，是从“代用”的角度出发，即由于木材资源的紧张，试图以其它材料、制品来代替木材，这一认识表明了人们还处于以木材为传统的、正规的、唯一的支护材料，反映了“生产煤炭必须木材换”的观点。它的出发点是“代”，被代的是木，其它是非正规，因而给人一种错觉。随着时间的推移，科学技术的不断发展，经过大量的实践，检验了“代用”含义在认识上的片面性、出发点的局限性。因而，较长期来没有把它纳入科学的轨道，也就不能很好地发挥支护的作用，不能做到物尽其用。回顾过去，展望未来，科技水平的提高、发展，煤炭支护材料方面的资源利用还有巨大的潜力，大力开发它，是当务之急。

在煤炭工业生产过程中，采（掘）、支、运是三个环环相扣的紧密环节。开采煤炭、开凿巷道和其它地下结构物，必然要破坏原岩体的平衡，引起岩体的应力重分布。如何使它重新取得平衡，这就需要从外部或内部支撑及加固岩体使之趋于稳定，以确

保安全。这种随条件而异的不断变化，并保持它的平衡、稳定状态，达到安全与畅通，或周而复始的前进，就是支护科学技术领域经常不断发生与需要研究的问题。使被破坏了的平衡状态，得到新的平衡或相对稳定，就是支护结构、方式等的作用。研究适用于不同自然条件及变化，并按不同条件采取相应的支护手段及措施，达到安全、畅通，创造有利于采掘作业的环境条件是支护的首要目的。同时，还必须大力节省材料资源，达到以较小的消耗取得较大的效益。支护涉及到各个学科，必须运用含有采煤工艺、地质、岩石力学、结构力学、土木工程以及机械施工工艺等的专门学科与专业知识综合地解决。因此，它是一门综合性的科学技术。显然，以单一的、原始性的木材，或仅从“代用”角度去对待这一地下作业或以“代用”的方式管理这一庞大的地下自然界的事物是不科学的。

支护与采、掘是相辅相成的关系，开采或掘进工序推进后，必须进行及时支护作业，采、掘的速度在很大程度上取决于支护的速度。速度跟不上，不是采、掘工序迁就“等待”，影响整个进度，就是采掘后留下大的“空顶”，致围岩或顶板松动、离层、加大变形，导致垮落、片帮，威胁安全。因此，支护的时间概念很重要。要及时，是指在围岩应力重分布还没有充分发展时即加以支护，以阻止、减少围岩中应力重分布过程中的变形发展，这对保护岩体有重要作用。因此，支护的及时，既关系到采、掘工序的整个进度，更关系到支护的质量和效果。国外一般资料表明，支护施工作业时间平均要占整个作业时间的1/3以上。这只是对钻爆法施工而言，如果按综合机械化施工比较，那么支护工序占用的时间会更大。可见，支护在速度上有举足轻重的影响。而支护结构、方式、施工的速度与它本身的机械化程度直接有关。所以，支护本身速度是含在支护技术范围内要研究的又一课题。

支护与物质消耗、效率的关系。煤炭工业每年要开挖几千km

的各类巷道，采煤工作面每年要推进日100万m以上，这一庞大的地下作业工程要耗用大量材料、劳动力和各种机械装备，其直接用于支护方面的木材每年达400万m³左右，钢材近50万t，水泥300余万t，加上各种制成品、专用机具、设备等等，每年的直接费用达20亿元。这一庞大的物资投到矿井支护上是一个不容易忽视的重要问题。

60年代初，从“现代”角度出发，大力开发钢材制品，采用了摩擦式金属支柱、铰接顶梁、钢筋混凝土支架、可缩性支架、梯形矿用工字钢支架、柔性掩护支架以及部分锚杆支护，突破了传统的木材支护。仅4年左右的时间有36%的回采工作面及45%的巷道实行了非木材支护，开创了煤炭工业支护改革的第一篇章。当时，适应了采、掘的需要，仅从木材消耗看骤降了近50%，年节省木材达100万m³。1962~1966年4年期间，按每万t煤消耗的木材定额计算，从1962年的260m³下降了110m³，累计国家付出的钢材为58万t。开始挖掘了这项巨大的潜力，缓解了国家木材的负担，而且突破了传统习惯，改变了木材是唯一的支护材料与手段的论点，打开了禁区。实践检验了支护技术改革的实际效果，它的综合效果表现在：井上、下生产面貌有很大改变。木材吞吐量大为减少，缓和了矿井的提升，改善了井下环境卫生条件，速度、效率、安全、成本都发生了有利的变化。重要的是：木材，是一种一次性材料。各种新型支架、支护结构是一种工具，装备设施和工艺技术，它循自然界的规律来设计、选型去适应矿井不同条件的需求，并可周而复始地循环更替，它的使用期较木材长数十倍、百倍。两者有根本上质的区别。从矿井支护与自然界的联系、与采掘作业的关系、与物质消耗的关系、以及与机械化的关系来看，煤炭工业的现代化，必须相应的发展支护技术。它不是单一的材料消耗问题，而是煤炭现代化所不可缺少的一项综合性的科学技术。现在，以及今后发展的要求是新型的，适合我国实际具体情况的支护方式、支护结构及装备，而木

材，仅是一种局部的、辅助性的消耗材料。

支护技术的进步，促进采掘工业的发展，采掘工业的发展促进支护技术的提高，互为因果。技术的先进性、可靠性必须反映到经济效果上来。支护技术是生产力的组成部分，它本身并不生产煤炭产品，即不直接生产物质产品，而是通过应用在生产重要环节上产生效用。它的应用价值是：缩短作业时间、加快工程进度、促进机械化生产或施工。它与整个生产过程紧密结合为一体，并在生产过程中有它的特殊作用。使采（掘）、支、运三大生产主要环节紧密结合起来，构成有机的整体，促进并加快了煤炭的生产过程。直接或间接地促进煤炭的生产。创造了社会财富，构成了生产力的组成部分。这里举出两项支护技术与装备的改革效果来说明。如现已推广的锚喷支护，它排除了过去手工作业方式，代之以机械化或半机械化施工，做到了随掘随喷锚，完成一次成巷，加快了实际成巷速度，按十几个煤炭生产、建设单位的统计表明，这项支护技术应用以后实际效果是（与旧支护方式及结构比较），平均速度提高50%，工效提高1倍。每km巷道节省资金达2000余万元，节省木材以万 m^3 计。徐州矿务局在推广的300余km巷道中节省了资金3000余万元，节省了木材25000 m^3 。如果都能因地制宜积极发展这项技术改革，创造的价值将以亿万元来计算。节省下来的木材将以百万 m^3 来计。再如，在条件适合的回采工作面中采用综采支架，以及单体液压支柱，由于初撑力大，受力均匀，冒顶事故大为减少，安全状况大为改善。特别是单体支柱结构较简单，操作机动灵活，在煤层赋存条件复杂时，更显出其适应性强的特点。综合黑龙江、山东、江苏等省的矿务局材料分析，采用液压支柱与旧的摩擦式支柱对比，平均顶板冒落事故减少80%，移放速度提高50%以上，木材消耗减少50%，目前正在向轻型组合式支架发展。

以上两例表明，矿井支护这项综合性的科学技术对发展煤炭生产，对节省材料有很大的作用，也蕴藏着巨大的物质潜力。随

着煤炭工业的现代化发展，要求支护技术的提高和改革就越迫切。矿井支护的现代化必须走在前面，并要讲求实效。

技术的先进性、可靠性必须反映到效果上来。如何取得合理的效果，主要的是按照自然规律办事，适合国情，因地制宜，择优发展。我国的矿井支护工作经历了60年代初的单一消耗为主的“代用”，到科学实践的认识过程。60年代初短短几年取得的效果初步显示了支护技术改革的优越性。人们开始抛弃了那种以原始的木材作为唯一的支护手段的陈旧观念。支护技术改革作为生产力的组成部分，开始发挥它的明显作用。事物正在按从低到高，从浅而深，从典例到全面发展这个过程来发展。仅以支护木材、钢材消耗的比例关系，按四个阶段对比分析一下，可以概略地看出问题所在。

第一阶段，从1962年至1966年4年中，用于支护方面的木材从每采1万t煤需 260m^3 降到 149m^3 ，下降了 110m^3 ，同期国家付出的钢材为55万t，平均每付出1万t钢材，使每采万t煤木材定额下降 2m^3 。

第二阶段，从1967年至1976年的10年期间，用于支护的木材从每采1万t煤需 149m^3 降到 133m^3 ，只下降 15m^3 左右，同期国家付出的钢材为144万t，平均每付出1万t钢材，使每采万t煤的木材定额下降仅 0.104m^3 （仅为第一阶段的5%）。

第三阶段，从1977年至1979年的3年期间，用于支护的木材每采1万t煤从 133m^3 降至 107m^3 ，下降了 26m^3 ，同期国家付出的钢材为59万t，平均每付出1万t钢材，使采万吨煤的木材消耗定额下降 0.44m^3 （为第一阶段的22%）。

第四阶段，从1980年至1987年的八年期间用于支护的木材每采1万t煤从 107m^3 下降到 60.5m^3 ，下降了 46.5m^3 ，同期付出的钢材为293万t，平均每付出1万t钢材使每采万t煤的木材消耗定额下降 0.158m^3 （为第一阶段的8%）。分析一下这4个阶段效果的悬殊，除了第一阶段的大幅度下降的效果是与矿

井的自然条件有直接关系，以及第二阶段几无效果的众所周知的十年破坏外，其最主要的原因是没有真正做到依靠科学技术，当然更谈不上科学管理，实际上把一项综合性的科学技术当做简单的一项材料供应来管理，这种倒置，是导致物不尽其用，只是表面数字式的“节约”，不能取得应有的效果，国家付出的1t钢究竟取得多少效益是值得深思的问题。

煤炭工业的现代化，既是技术问题，又是经济问题，要结合中国特点发展其现代化，并使物尽其用，一个简单的比喻即国家付出多少钢材要收回多大的效益，要从根本上改变现状，大踏步地前进，使短缺材料降下来，钢用在刀刃上。必须使矿井支护工作立足于改，改革管理工作，改革旧的支护形式与结构，改革过时的机具，改革不适应机械化生产的工艺技术，使它与当地自然条件相适应，与生产发展相适应，与生产建设的现代化相适应，更重要的要与国情相适应。这里要着重说明的是：矿井支护及其技术先进性必须适合中国煤矿的特点，衡量它的主要标准应是它的应用价值与经济效果，它的主要标志应是全面的技术经济指标，按照它对煤炭生产和国民经济的作用来理解，合乎逻辑的结论应是从“改”字出发，代替60年代初期延续下来的“代”字。从合理利用国家资源着眼必须改变单一材料消耗的管理办法，改变物质分配的水平加节约指标的办法，改革不分条件千篇一律的定额比赛办法，立足于改，着手于试，放眼于推，发挥科学技术的创造价值，改革后的实效才是真正的、扎实的。

中国煤炭储量大，分布广，地质构造复杂，煤层赋存条件差别大，任何单一化的支护结构与技术装备都不可能完全适应。必须因地制宜，重点发展与多品种结合，立足于国内实际情况，制订规划。国外，有的几乎全部钢铁化，有的几乎全部锚杆化，有的推行综采化等等。这些只能一般参考，不能生吞仿效，要依自然条件，工业发展，国民经济发展情况协调制定发展方针，不能简单的归纳哪种形式最好、最先进，重要的是依靠自然条件和国

情如何发展来制定。如果简单的以“钢化”代“木化”，那么仅钢材每年要付出400万t以上，显然即使是“技术先进”物质上也是不允许的。技术先进必须符合国情，要讲求经济效益，这个实效既包括支护技术的先进性，更要合理性，以尽量少的物质消耗创造出更大的直接效果，也包含提高生产力的间接效果。当前，在煤矿现代化发展的同时，把矿井支护这项综合科技工作纳入到正轨上来，有条不紊，按自然规律发展它，必将为促进煤炭工业的发展做出贡献。矿井支护科学技术用武之地很广阔，潜力相当大，有待于科学的总结、深化、发展。

这里组编的论文，从不同角度论述了各个专题，它是20年来支护技术发展的成果，从中我们得到启示是：支护技术是一项综合性科技，这个领域里的文章还很多，期待我们向更深更广泛的范围开拓前进。

全长粘结式锚杆的加固作用分析

博士 陈 进 教授 袁文伯

一、前言

随着矿山工程建设的发展，锚喷支护作为一种经济有效的支护形式已经得到了广泛应用。但由于地下岩体条件的复杂性，锚喷支护的机理仍不十分清楚，不适当地使用锚喷支护往往会造成工程失败。特别是在软弱岩层条件下，锚喷支护的合理设计显得更加重要。因此进一步探讨软岩条件下锚喷支护机理，研究应用较多的全长粘结式锚杆的作用机理、分析其受力规律，合理地设计锚喷支护参数是当前软岩巷道支护改革的重要课题之一。

一般的分析方法是把锚杆看成是受拉构件，其支护作用近似地作为巷道壁面的当量支护力考虑，这种方法显然是不完全的，更不能说明锚杆的作用机理。实际上，全长粘结式锚杆在软岩巷道中起着加固围岩、提高其承载能力的作用。这种作用表现为：在锚杆与围岩的相互作用中，全长粘结式锚杆一方面通过轴向受拉来改善围岩的应力状态，另一方面则通过与岩体的横向联结来提高岩体的强度。本文将全面考虑岩体的弱化性质，全长粘结式锚杆的轴向效应和横向效应；从锚杆与围岩相互作用的特点出发，推算全长粘结式锚杆的受力规律，分析锚杆对围岩的加固作用以及锚杆长度、间距、直径等参数对围岩稳定性的影响。为软岩巷道中锚喷支护的设计提供较合理的理论依据和方法。

为了便于分析，特作如下一些假设以简化问题：

(1) 考虑无限长的圆形巷道，承受原岩应力为 P_0 的均匀压力作用，忽略岩体自重的影响，故可按轴对称的平面应变问题

处理。

(2) 岩体近似作为各向同性, 均匀连续的介质, 并呈现弹脆性性质, 其变形分为弹性和塑性破坏两阶段。岩体在弹性变形阶段服从虎克定律, 屈服时满足摩尔——库仑准则 (Mohr-Coulomb) :

$$\sigma_{\theta} = K_p \sigma_r + \sigma_c \quad (1-1)$$

式中 $K_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$;

φ ——岩体的内摩擦角;

σ_c ——岩体的单轴抗压强度;

$\sigma_{\theta}, \sigma_r$ ——主应力。

岩体在屈服后的塑性破坏阶段满足下式:

$$\sigma_{\theta} = K_p \sigma_r + \sigma_c^* \quad (1-2)$$

式中 σ_c^* ——岩体单轴抗压时的残余强度。

(3) 锚杆均匀地分布于围岩之中 (如图 1-1 所示), 不会与所粘结的岩体产生相互滑动。锚杆的轴向效应用巷道周围区域内均布的应力场来模拟, 其横向效应用增加岩体一个附加强度来表示 (附加强度的大小可由试验确定)。锚杆本身的变形限于弹性范围。

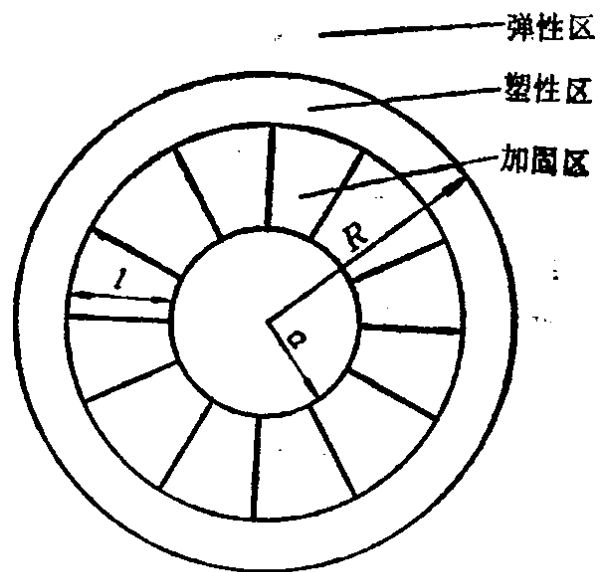


图 1-1 锚杆加固后的围岩区域

二、单根锚杆的受力分析

全长粘结式锚杆加固后的围岩变形时, 锚杆与围岩则发生相互作用, 其结果便在粘结面上产生粘结剪应力。取单根锚杆来看, 所受到的力应自相平衡, 即满足:

$$\int_a^{a+l} T dr = 0 \quad (1-3)$$

式中 a ——巷道半径；

l ——锚杆长度；

r ——锚固长度；

$T = \pi D_m \tau$ ——锚杆单位长度上的剪力；

τ ——粘结剪应力；

D_m ——锚杆直径。

把锚杆对围岩的作用力模拟为平均分布的应力场，这样可求出围岩的平均位移（即假设3）。实际上，锚杆是单根杆件，它对围岩的作用是一个集中力。显然，对应于这个集中力处的围岩位移与围岩的平均位移有所不同（见图1-2），两者之差可以表示为：

$$f(r) = u_{ms}(r) - u(r) \quad (1-4)$$

式中 u_{ms} ——锚杆作用处围岩的实际位移；

u ——围岩的平均位移。

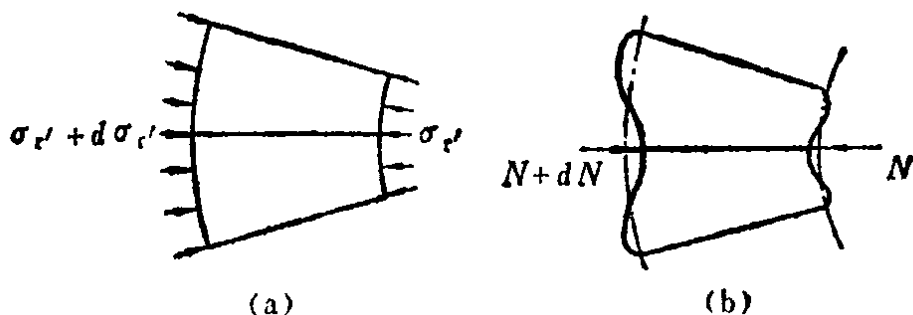


图 1-2 均布力作用与集中力作用的差别

a—均布力作用，b—集中力作用

考虑到安设锚杆之前，围岩已经存在一定的位移值，故锚杆与围岩的位移协调方程为：

$$\omega(r) = u(r) - u_0(r) + f(r) \quad (1-5)$$

式中 $\omega(r)$ ——锚杆位移；

$u_0(r)$ ——锚杆安设之前的围岩位移。

取微段锚杆来看, 其受力关系为:

$$dN = -T dr \quad (1-6)$$

按材料力学公式可得:

$$N = A_m E_m \frac{d\omega}{dr} \quad (1-7)$$

$$T = -A_m E_m \frac{d^2\omega}{dr^2} \quad (1-8)$$

式中 N ——锚杆内力 (拉为正);

A_m, E_m ——分别为锚杆的横截面积和弹模。

按弹塑性分析可求出均布力作用下的围岩位移为:

$$u = \frac{B_0}{E} \frac{R^2}{r} \quad (1-9)$$

式中 $B_0 = \frac{(1 + \mu)[(K_p - 1)P_0 + \sigma_c]}{K_p + 1}$;

μ ——岩体泊松比;

P_0 ——原岩应力;

R ——围岩塑性区半径;

E ——岩体的弹性模量。

在位移协调条件 (式 1-5) 中, 若将 $f(r)$ 取为最简单的二次式, 便可获得唯一的静定解, 其精度已能满足工程需要。即设:

$$f(r) \approx m_1 + m_2 r + m_3 r^2 \quad (1-10)$$

式中 m_1, m_2 和 m_3 均为待定系数。

将式 (1-10) 和 (1-9) 代入式 (1-5), 则协调条件变为:

$$\omega(r) = \left(\frac{B_0}{E} R^2 - a u_{a_0} \right) \frac{1}{r} + m_1 + m_2 r + m_3 r^2 \quad (1-11)$$

式中 u_{a_0} ——安设锚杆之前的巷道周边位移;

$$u_0 = \frac{a}{r} u_{a_0}$$

将式 (1-11) 代入式 (1-8), 应用平衡条件 (1-3), 可得:

$$T = A_m T_m \left(\frac{B_0}{E} R^2 - a l t_{a_0} \right) \left[\frac{l+2a}{a^2(l+a)^2} - \frac{2}{r^3} \right] \quad (1-12)$$

将 (1-12) 代入式 (1-7)，并应用无托盘时的边界条件：
当 $r=a$ 时， $N=0$ 。则有：

$$N = A_m E_m \left(\frac{B_0}{E} R^2 - a l t_{a_0} \right) \left[\frac{l^2 + 3al + 3a^2 - (l+2a)r}{a^2(l+a)^2} - \frac{1}{r^2} \right] \quad (1-13)$$

由式 (1-12) 和 (1-13) 可见：最大轴力位置，也就是剪力为零处（即中性点）为：

$$\rho = 3 \sqrt{\frac{2a^2(l+a)^2}{l+2a}} \quad (1-14)$$

式中 ρ —— 中性点位置半径。

三、全长粘结式锚杆的加固作用计算

考虑软岩条件下，全长粘结式锚杆加固于塑性区时的情况。这时巷道围岩将逐渐形成弹性区、塑性区和加固区三个区域（见图 1-1）。

1. 弹性区和塑性区分析

按通常的弹塑性分析可得：

弹性区应力：

$$\begin{cases} \sigma_r = P_0 + (P_0 - \sigma_{re}) \left(\frac{R}{r} \right)^2 \\ \sigma_t = P_0 - (P_0 - \sigma_{re}) \left(\frac{R}{r} \right)^2 \end{cases} \quad (1-15)$$

式中 $\sigma_{re} = \frac{2P_0 - \sigma_c}{K_p + 1}$ 。

塑性区应力：

$$\begin{cases} \sigma_r = K_p \left[\frac{2P_0 - \sigma_c}{K_p + 1} + \frac{\sigma_c^*}{K_p - 1} \right] \left(\frac{r}{R} \right)^{K_p - 1} - \frac{\sigma_c^*}{K_p - 1} \\ \sigma_t = \left(\frac{2P_0 - \sigma_c}{K_p + 1} + \frac{\sigma_c^*}{K_p - 1} \right) \left(\frac{r}{R} \right)^{K_p - 1} - \frac{\sigma_c^*}{K_p - 1} \end{cases} \quad (1-16)$$