

压力輸泥管的水力計算

苏联工學碩士Г. Н. 罗葉尔著
青 文譯



電力工業出版社

內 容 提 要

本書敘述水管輸泥的基本原理和計算公式。書中用實際資料驗証公式計算的結果，介紹輸泥管的經濟分析方法。最後，用詳明的算例說明壓力輸泥管的計算方法。

為了簡化計算，著者在本書內建議了兩種快速計算法，並預先繪製了許多圖表，計算和檢用都十分方便。

本書可供水利工程設計和施工部門的技術人員參考。

Г. Н. РОЕР

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ НАПОРНОГО
ГИДРОТРАНСПОРТА ГРУНТА

根據蘇聯國立建築工程與建築藝術出版社1952年莫斯科版翻譯

書號 280

壓力輸泥管的水力計算

青 文譯

電力工業出版社出版 (北京市東黃城根25號)

北京市書刊出版業登記證出字第062號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：孟慶沐 校對：呂哲人

850×1092 $\frac{1}{16}$ 開本 * 32印張 * 88千字 * 印1—1,500冊

一九五六年一月北京第一版第一次印刷

定價(9)：八角四分



序

根据党和政府的指示，在我國國民經濟的各个部門內运用了全新的更完善的技術，特別可以注意的是重載工作的機械化，其中包括土方工程和採礦工作的機械化。

水力機械化是土方和採礦工程機械化中最先進最具有高度生產效能的方法。

虽然在水力機械化的領域內有了巨大的成就，但在它許多个别的过程中(開採，運輸和填築)仍然还存在着更多的尚未加以利用的提高技術經濟指标的可能性。

最近把下列水力輸泥原理認為是正確的原理。

1. 最經濟的流态(輸送 1 公尺³ 或者 1 噸土壤的單位电能消耗为最小的流态)是在所謂「臨界流态」(对某一土壤或泥漿的性質指标而言)下的流态；同時，認為臨界流速是輸泥管底無土壤沉積的泥漿運動的最小平均流速。

2. 在其他条件不变時，水力輸泥的經濟性是隨泥漿的稠度或泥漿的容重的增加而提高的。

在本文中，用試驗資料論証並証實了輸泥管运用期間的單位电能消費和檢修費用在兩種臨界流态下是不同的。管底有薄層沙土或礫石沉積時的費用比管底無土壤沉積的費用要低些，例如当泥漿的稠度或容重相等，管底土壤沉積層高 $0.1 D$ ，顆粒成分指标 $d_{95} = 1$ 公厘或 10 公厘時，在有土壤沉積的輸泥管內电能消費比無土壤沉積的輸泥管相应要低 14% 或 32%，檢修費用低 47% 或 71%。

書內証實了單位电能費用或檢修費用的所能節省數值，是隨泥漿容重的相应提高而定的。例如，当容重 $\gamma_n = 1.10$ 噸/公尺³ 增加 15% 時(或代表原狀土与水的体積之比的稠度百分數——在 $\gamma_r = 2.55$ 的情形下——从 10.9% 增加到 18.2% 約 1.7 倍時)，

在管徑相等的情形下，單位能量消耗減少達 20%，而在土壤流量相等的情形下，檢修費用減少達 46%。

直至最近，在困難情形下輸送土壤時，按一般採用的方式，泥漿的平均稠度在用浮船式吸泥機設備的情形下很少比 1:10 再稠厚者，在水力吸泥機時則很少比 1:8 再稠厚者。

為了力求輸送更稠厚的泥漿，在蘇聯的許多先進建設中，例如在伏爾加河的建設和在馬格尼托哥爾斯克的建設中（藉助於各種不同形式的濃縮器）已在使用濃縮的泥漿了。在馬格尼托哥爾斯克，於 1945 年 6 個月中，當使用著者所提出的放在輸泥管（用以沖積堤壩）前面的壓力濃縮分配器時 [5] 曾進行了觀測。

這種濃縮器使泥漿流沿水平綫分為兩個部分：一部分是從下面一個支管放出粗粒徑的較稠厚的泥漿；另一部分是從上面一個支管放出細粒徑的較稀薄的泥漿。

這些觀測指出了下列十分良好的結果：

1) 在總泥漿流量約 600 公升/秒時，二條支管各放出 50% 的流量；在濃縮泥漿管內的土壤粒徑比稀泥漿管內的土壤粒徑粗了二倍；在濃泥漿管內粗粒徑的（小於 0.05 公厘者）成分佔 35%，而在稀泥漿管內則同樣粒徑成分佔到 90%；

2) 在有了濃縮泥漿的情形下，堤壩的沖積就變得如此順利，以致在堤頂沖填到高出沉沙池水面 2.5 公尺所需要的時間內，在沒有得到濃縮泥漿以前，堤頂只能沖積到水池水面 0.25—0.30 公尺以下，而且後者甚至还發生了兩次嚴重的崩坍。

但是，更經濟更稠的泥漿，還可能用改進技術的方法直接在泥溝或吸泥機的泥漿池內（不用濃縮器）得到，例如：

1. 在大管徑和低压頭下用水力吸泥機輸送土壤（這是有試驗資料証實的，這些試驗係 1947—1948 年間由作者領導在 ВНИОМС^① 舉行的）；同時用推土機把餘下的大量未沖積的土壤

① ВНИОМС—Всесоюзный научно-исследовательский Институт Организации и Механизации Строительства 譯名為「全蘇施工組織及機械化科學研究所」。——編者

收進泥溝後的活動吸泥机的泥漿池內去[5]。

2. 用掘土机來採掘土壤。掘土机 利用具有饋給器的活動漏斗，將土壤均勻地送到傳送帶上，然後送入与吸泥机裝置相連的活動泥漿池內去，最後从这兒用压力輸泥管輸送出去。

水力輸送泥漿是土方工程和採礦工程 水力机械化的主要方式。

压力輸泥或無压輸泥是一种十分複雜的物理現象，其原理迄今尚未完全明曉，但在近 10—15 年中，苏联学者完成了極重要的實驗工作和理論研究，大大超过了國外对这个問題所做的研究工作。

在苏联，水力輸泥的主要研究工作是由 A. H. 克里門托夫，B. C. 克諾樂士，A. П. 尤芬等所進行的。特別有價值的是 A. П. 尤芬在各种不同起始条件下所進行的足比例尺（即 1:1 比例尺）的試驗。这些試驗的成果，我們利用來証实我們所做出的計算公式。

在某些場合下，水力輸泥問題的解決是循經驗方法的，試驗中往往只包括有限的起始条件：有限幾种土壤粒徑，有數幾种輸泥管管徑，和有限幾种泥漿稠度。

在 1947 年，本文作者与工学碩士 П. B. 米黑也夫一起進行了根据物理規律來解決水力輸泥問題的研究。在分析水流及其內土壤運動原理的基礎上，建立了臨界水力輸泥流态下流速或輸泥管直徑（水深）与土壤性質指标、泥漿流性質指标之間的綜合計算關係式。

这个研究工作的成果在水工建設雜誌 [4] 內有簡略的敘述。

在 1949 年著者对上述研究工作的某些問題作了進一步的深入与修正，並提出了兩個計算關係式——輸泥管管底处的糙率 Δ 和 Δ_1 （管底無土粒沉積与有土粒沉積）与在管底处運動的土壤粒徑 d_{95} 和泥漿容重 γ_n 的關係。

後一關係式（輸泥管底有土壤沉積者），使上述僅適用於管底無土壤沉積臨界流态下的土壤，和泥漿流性質指标的計算關係式得以推廣應用於輸泥管底有各种不同土壤沉積層時的臨界流态的

情形。

上述水力輸泥的計算公式和計算方法，在設計工作中应用了三年多，証明这些公式和方法太複雜。因此在下面拟製了二种速算法(近似速算法和精確速算法)；因为許多經驗表明在应用列綫圖圖解法時，远比应用表格來做計算容易發生因人員不同而結果不同的誤差，所以这种速算法主要是应用基本性質指标的明細表來做計算的。

按所述近似算法做計算，能迅速地做出一定工作条件下各种不同流态時的輸泥管的特性曲綫(水头損失与泥漿流量的關係)，以及工作条件相同流态又相应時，輸泥管与吸泥机同時工作情形下的綜合特性曲綫(水头与流量的關係)。

選擇和論証在一定条件下与某种吸泥机联合工作的輸泥管的最經濟管徑，应以分析上述各种不同輸泥管管徑和不同工作条件下所得出的綜合特性为基础。

为了確定与一种吸泥机在一定条件下联合工作着的輸泥管的最优管徑，就必需根据計算把輸泥管在各种臨界水力輸泥流态下(管底有不同厚度的土壤沉積和無土壤沉積)的特性(压头損失)用圖解表示出來，找出兩種大小管徑中何者的压头損失为最小。

然後应求出輸泥管与某种吸泥机联合工作時的有效混合特性，並在分析和比較泥漿流量和所需水头(泥漿容重相同，其他条件亦一致)的基础上來確定輸泥管的最优直徑。

由上述分析，可見輸泥管的直徑应采用这样的直徑，即在这种直徑下要能發生一种輸泥管底有不厚沉積層，管內泥漿的容重則或等於或稍大於設計值的水力輸沙或水力輸礫流态。

在实际生產上採用上述措施能獲得十分經濟的效果，有下列理由为証。

如在吸泥机的各种工作情况(主要隨泥漿容重的变化而定)下，輸泥管底都沒有土壤沉積層，則水流的平均流速僅僅在最大 γ_n 值的很小範圍內才接近於臨界流速 v_k ，当 γ_n 值的範圍很大从最大值变到最小值時，平均流速往往超过 v_k 值很多。前面曾指

出，压力輸泥的輸泥管管徑如能採用比在管底無土壤沉積情形下工作的輸泥管所需要的直徑大 10—20% 的直徑，則虽然 γ_n 值的变化很大——由最大变到小於平均值，但由於輸泥管底的土壤沉積高度在小範圍內能由水流自行調節，故能使管內平均流速在管底有土壤沉積和無土壤沉積時都能達到臨界流速值。只有当 γ_n 值很小時，管內平均流速才略大於 v_k ，因而管底無土壤沉積。

因此，应用上述措施就能在大部分時間內，可以獲得流速等於 v_k 的水力輸泥流态(管底有土壤沉積)，僅在極少一部分時間內是流速超过 v_k 的流态，而在管底無土壤沉積的情形下，則水力輸泥主要是在流速大於 v_k 的情形下進行的。

实行此种措施的結果，正如本書所詳細敘述者，將大大節省水力輸泥的費用，这主要是由於：

1)減低了輸送 1 公尺³ 土壤所耗費的單位電費，其一是因為有土壤沉積的輸泥管內的臨界流速，以及單位壓頭損失和電費等(当其他条件相等時)往往小於在無土壤沉積的輸泥管內者；其二是因為在第一种情形下(管底有土壤沉積時)，水力輸泥時大部分時間都在流速等於 v_k 的情形下進行；但在第二种情形下(管底無土壤沉積)，則在大部分時間內流速都大於 v_k ；

2)減少了輸泥管的檢修費用和檢修期內的基本費用。因為管底的土壤沉積能大大降低土壤對管底的磨損，因而延長輸泥管的使用期限。

顯然(參閱書內計算公式)，臨界流态水管輸泥情形下的实际水頭損失值，主要是隨下列諸因素而变的：

- 1)土壤的顆粒成分和均勻係數；
- 2)泥漿的容重和稠度；
- 3)輸泥管的直徑。

在研究了取土坑的工程地質情况後，應算出每个取土坑各种採掘深度上土壤的平均顆粒成分，以供計算採用。

在已知条件下应用合理的方案，並在生產實踐時应用先進的斯達漢諾夫工作法就完全可能在採掘和水力輸运土壤時使泥漿保

持很厚的稠度。这种稠度在很小範圍內变化，应在水力輸送計算中考慮及之。

在採用上述混合機械化裝備(掘土机,有饋給器的活動漏斗,傳送裝置,泥漿池和吸泥机裝備)時很容易獲得此种稠度,而在用浮動吸泥机設備从水底泥溝內採掘土壤時,要獲得这种厚稠度是較為困难的。

在設計每个工程的工作組織時,应適当地根据主要性質指标(土壤的顆粒成分, γ_n 的变化範圍, 最大和最小輸送距离以及最大和最小輸送高度)的設計条件, 做出上述必需的計算, 以便確定輸泥管的最优管徑。

与此种輸泥管同時採用的吸泥机应保證这个設備在大部分工作時間內, 能獲得最經濟的水力輸泥流态, 因为在土壤的採掘、輸运和填放的水力機械化總費用內水力輸送的耗費是最大的。

最後, 本書手稿承工學博士 B. A. 儒林教授詳細閱讀, 並作了許多寶貴的指示, 著者对此深表感謝。

目 錄

序

I. 基本原理	9
1. 土壤在水流內運動的動相和臨界流速	9
2. 輸泥管的最優管徑和水力輸泥的經濟計算	10
3. 泥漿內土壤飽和程度的表示方法	12
II. 水力輸泥原理與計算公式(管底有土壤沉積與無土壤沉積)	14
1. 所採用的原理	14
2. 計算公式	15
III. 上述公式計算結果的試驗驗證	21
IV. 水管輸泥經濟分析的成果	24
1. 管底無土壤沉積的水力輸泥經濟分析	25
2. 輸泥管底有土壤沉積和無土壤沉積的水力輸泥經濟分析	29
3. 計算結果的驗證資料	36
4. 主要結論和主要建議	42
V. 臨界流態下水力輸泥的近似速算法和精確速算法	43
1. 管底無土壤沉積的水管輸泥的計算方法	46
a. 近似計算法	46
b. 精確計算法	47
2. 管底有土壤沉積的水管輸泥的計算方法	51
a. 近似計算法	51
b. 精確計算法	53
VI. 計算例題	55

1. 管底無土壤沉積的輸泥管計算	55
a. 近似計算法	55
b. 精確計算法	60
2. 管底有土壤沉積的輸泥管計算	67
a. 近似計算法	67
b. 精確計算法	73
3. 計算成果彙總	78
附錄(1—15)	81
所用主要參變數的符号說明	101
主要參考文獻目錄	102

I. 基本原理

1. 土壤在水流內運動的動相和臨界流速

根據在蘇聯所進行的水力輸泥研究的結果，土粒子在水流內運動的變化呈如下之流態。

如有某已知稠度的泥漿，挾帶一定顆粒成分的土壤在規定直徑的水平壓力輸泥管內運動着，則當其流量或流速逐漸增大時，就會依次發生下列水力輸泥諸動相。

1) 位在輸泥管底上的土壤成層地移動；

2) 過渡時期——管底上部分土粒子不時突然跳動，即有時入於懸移狀態，而隨即趨於靜止，部分最細的土粒子則在這層以上長時間以懸移狀態運動着；

3) 全部土壤以懸移狀態沿輸泥管過水斷面而運動，該時管底上有不動的土壤沉積層或者沒有這種沉積層。

人們把水流內土壤運動開始呈第三種動相時（土粒子開始沉落到管底上的時刻）的最小平均流速稱為在該泥漿容重，泥沙顆粒成分和該輸泥管直徑時的水力輸泥「臨界流速」。

在水流內土壤運動的第一種動相內，當泥漿容重不大時（約至 $\gamma_n \approx 1.06$ 噸/公尺³），不論有沒有不動的泥沙沉積層存在，在輸泥管的管底上都可能形成沙壟，這些沙壟沿水流方向緩緩移動，與許多學者所曾觀察到的明渠內的沙壟運動十分相似。輸泥管內的這種沙壟運動形態在力能方面是不經濟的，因此必需避免。

有某泥漿以管底上沒有泥沙沉積的臨界流速而運動，若加以某定量的同樣泥沙（其他參變數不變），則水流就會自動地調節其流態，把部分最粗的土粒子沉積在管底上，部分地減小輸泥管的過水斷面，從而稍稍增大其平均流速。

管內有部分不動淤積層時的平均流速同樣是該流態的臨界流

速；流量或流速的某些增加(当加大流速時，稠度不变)便会引起土壤沉積層的局部冲刷，並使部分土粒子从管底沉積状态轉入懸移状态；反之，流量或流速的稍許减小便会促使部分懸移土粒子轉化为靜止的土壤沉積層，同時引起沉積層厚度的增加。

在具有臨界流速的穩定流态下，並無可能从水底颺起新的土粒子而維持長時間不下沉，但其中某些粒子是可能昇起到水流之內，在一躍或數躍後重新沉落在水底上；这些粒子中的若干粒子可能被水流帶走，並轉入懸移状态，但这种現象的机率与同一數目的其他粒子沉落到管底上去的机率是相等的。

2. 輸泥管的最优管徑和水力輸泥的經濟計算

輸泥管最优直徑是保證單位体積土壤移動單位長度所需費用为最小的輸泥管直徑，可以根据1公尺³土壤通过1000公尺長輸泥管所需耗費的力能，檢修和管理費(隨輸泥管的直徑而变)的總和为最小这一条件來確定。

著者以及其他專家就各种具体条件分析这个方程式的結果証明：上述檢修和管理費用的數值只佔總費用中一小部分，因而不可能对最优管徑的尺寸有很大影响。

因此可以首先就力能費用为最小的条件來確定輸泥管的最优管徑。

在臨界流速或接近臨界流速情形下，水流以懸移状态輸送大量的土壤，最大限度地發揮了它全部的動力可能性。

就力能方面言，这种水流狀況的特點是使1公尺³土壤通过1000公尺長輸泥管時，單位能量消耗为最小，因此輸泥管在臨界流速情形下的臨界輸泥管徑就是最优管徑。

由於当管底有泥沙沉積与沒有泥沙沉積時的水力輸泥，在檢修費用方面有着很大的差別，因此在不同实际情形下(特别是在作上述二情况的比較時)，对水力輸泥的經濟估算应仍要根据二种指标來進行：1)主要的——單位电能消耗；2)附加的——輸泥管的檢修費用。

在按第一种指标做各种实际情况下的經濟估算時，可以採用著者远在 1939 年所建議的一般情形下，單位重量的土壤輸送單位距離所需要的單位電能消耗公式：

$$\mathcal{E}_p = \frac{Q_{\text{ns}} \cdot 100 \cdot i_{\pi}}{Q_{\text{rs}}} \quad (1)$$

下面我們以 1 噸土壤在 1000 公尺輸泥管長度上，加於吸泥機軸上的瓦小時來表示這個單位能量消耗：

$$\mathcal{E}_p = \frac{Q_{\text{ns}} \cdot i_{\pi} \cdot 1000 \cdot 100}{Q_{\text{rs}} \cdot 75 \cdot 8600 \cdot 0.55 \cdot 1.36} = 0.5 \frac{100}{P_{\text{B}}} i_{\pi} = 50 \frac{i_{\pi}}{P_{\text{B}}}, \quad (2)$$

$$\frac{Q_{\text{rs}}}{Q_{\text{ns}}} = \frac{P_{\text{B}}}{100},$$

式中 Q_{ns} ——泥漿流量以重量計(公斤/小時)；

Q_{rs} ——土壤流量以重量計(公斤/小時)；

P_{B} ——土壤佔泥漿的重量百分數；

i_{π} ——臨界泥漿流速時輸泥管內的單位壓頭損失以公尺水柱/公尺計。

根據檢修費用(按第二種指標)的水力輸泥經濟估算，可以考慮下列諸情形而進行。

可以假定輸泥管的基本費用與每根輸泥管的周長，即與其管徑(當管壁厚度一致時)成正比而仍足夠精確。

由於至今仍沒有十分有理由的式子來從土壤及泥漿的性質指標確定金屬輸泥管管壁的磨損時間，因此，作為第一次近似，我們認為只需要考慮最主要的情況——存在有二種不同的水力輸泥臨界流態(管底上無土壤沉積與有土壤沉積)。

在第一种水力輸泥情形下，所比較的二種輸泥管的檢修費用可以假定其與基本費用成正比。

兩根輸泥管進行比較，若其一係在第一种水力輸泥情形，而另一管係在第二種情形時，則作為第一次近似，我們假定管底上有土壤沉積的輸泥管的檢修日期，比管底上沒有土壤沉積的輸泥管的檢修日期至少要長到 1.5—1.8 倍之多，相應的土壤顆粒成

分的粒徑值為 $d_{95}=1$ 和 10 公厘。

應予承認的是採用上面所假定的使用年限的增加數是十分謹慎的。因為實際上甚至還可希望更增加一些。

3. 泥漿內土壤飽和程度的表示方法

必需注意迄今為止對於泥漿的稠度和濃度二術語還沒有明確的定義(人們常常把它們當作同義詞來應用);此外,在應用這些術語時,往往不指明包含在泥漿內的土壤的度量方法與其狀態,雖然土壤的狀態是彼此十分不同的。在根據稠度或濃度確定土壤的運輸量(生產率)時,這將特別重要。因為當它們的數值相同但表示方法有異時,土壤的運輸量能相差到 2.5 倍以上(表 1)。因此下面列舉了泥漿土壤飽和程度的各種不同的表示方法,同時並提出了下列較確切的術語。

I. 泥漿的濃度——土壤對泥漿的比值 (M) 或百分數 (P); 濃度可以表示為:

- 1) 根據原狀(帶孔隙)土壤的體積者為 M_0 和 P_0 ;
- 2) 根據土壤實有體積(去孔隙)者(相當於土粒子的單位重 γ_r) 為 M 和 P ;
- 3) 根據乾土重量者為 M_n 和 P_n 。

II. 泥漿的稠度——土壤對水的比值 (M'), 或百分數 (P'), 稠度可以用上面所列舉的相同於表示泥漿濃度的三種表示方法來表示(符號相同,但帶有 $[']$ 號)。

III. 泥漿池內的泥漿容重—— γ_n : 如以體積為 V 的量桶取樣並求得該樣品的重量 G , 則 γ_n 在原地很容易確定,故

$$\gamma_n = \frac{G}{V}.$$

必需指出: 第一, 最嚴格的表示土壤飽和程度的方法是泥漿的容重; 第二, 在施工中常應用上列第 I 類 1, 或第 II 類 1 的表示方法, 即常應用根據原狀土壤體積表示的泥漿濃度或稠度。

確定上述以土壤, 水及泥漿的容重 γ_r , γ_0 , γ'_0 , γ_n 來表示泥

表1

泥漿的容重 γ_n	I. 根据原狀(帶孔隙)土壤的性質者				II. 根据土壤史有(去孔隙)的性質者				III. 根据乾土重量者			
	1. 濃度		2. 稠度		1. 濃度		2. 稠度		1. 濃度		2. 稠度	
	M_0	P_0	M'_e	P'_e	M	P	M'	P'	M_g	P_g	M'_B	P'_B
1.02	1:49.5	2.0	1:49.0	2.0	1:32.6	1.2	1:32.0	1.2	1:31.8	3.2	1:31	3.2
1.06	1:46.5	6.1	1:46.0	6.3	1:27.4	3.7	1:40.9	3.7	1:40.9	9.2	1:40	10.0
1.10	1:49.9	13.1	1:49.5	10.5	1:16.4	6.1	1:17.0	5.9	1:16.8	14.7	1:15.9	17.0
1.14	1:47.1	14.2	1:46.6	15.2	1:11.6	8.6	1:11.0	9.1	1:11.1	19.8	1:14.0	25.0
1.18	1:45.5	18.3	1:45.0	20.0	1:9.1	11.0	1:8.4	11.9	1:4.1	24.6	1:13.1	32.3
1.20	1:44.9	20.3	1:44.4	22.7	1:8.1	12.3	1:7.3	13.7	1:3.7	26.8	1:12.7	37.0
1.25	1:43.9	25.5	1:43.4	29.4	1:6.5	13.3	1:5.8	17.3	1:3.1	32.2	1:12.1	47.5
1.30	1:43.2	31.0	1:42.6	38.5	1:5.4	18.5	1:4.5	22.2	1:2.7	37.1	1:11.7	58.5
1.35	1:42.3	36.0	1:42.3	44.5	1:4.7	21.5	1:3.8	26.3	1:2.4	41.7	1:11.4	71.4

漿濃度和稠度的六種計算公式，以及這些公式之間的換算式，均見附錄 14。

當 γ_r 值為在 2.5 到 2.8 噸/公尺³ 間的諸值時，泥漿容重與上述稠度和濃度之間的關係見附錄 15 的列綫圖。

茲引用表 1 來更清楚地顯出在平均 γ_r 值為 2.65 噸/公尺³ 及原狀土壤平均孔隙率為 40% 時的泥漿濃度和稠度的表示方法的區別以及它們與泥漿容重的關係。

考察表 1 的結果發現在泥漿容重 γ_n 與以原狀土壤體積表示的泥漿濃度百分數 P_0 之間存有在實際應用中甚為重要的近似關係式： $(\gamma_n - 1) \cdot 100 \approx P_0$ ，即 $\gamma_n = 1.10$ 及 1.20 約相當於泥漿濃度 $P_0 \approx 10\%$ 及 20% 。

II. 水力輸泥原理與計算公式 (管底有土壤沉積與無土壤沉積)

1. 所採用的原理

判明水流使固體顆粒懸移的條件雖然在工程水力学中具有非常重大的意義，但這個問題直至最近仍然了解得很少。

固體顆粒被水流所推移和懸移乃是二種物理現象，故揭露這些現象的力学本質應該根據物理的規律來解決。因此我們過去採用工學碩士 П. Б. 米黑葉夫在 1946—1947 年所研究出來的水流力能結構理論[2]，作為解決水力輸泥問題的基礎。

按照這個已確定了的水流力能方程式為基礎的理論，曾搞清楚了水流內其值沿水深而變的內應力方程式。

處於臨界狀態的邊界層內的應力係極限應力；這些代表邊界層位能的應力不斷地受到破壞，形成漩渦並轉化為動能。

所形成的漩渦是向水流內最小壓力的一端發送的，即向水面發送的。由於這些漩渦就預決要發生能懸起土壤粒子的垂直分

速。

由於查明了水流的能量，固体顆粒被水流沿河底推移的問題就被解決了。在建立臨界流態下的水力輸泥普遍方程式時，本書內所採用的解析辦法，保證了以後繼續有根據地修正上述公式的可能性。

下面所列举的計算公式和提出的方法，適用於計算从最細的粉土到礫卵石的水力輸泥量，同樣適用於含有某些黏土粒子的土壤。

當以大量黏土粒子代替加入泥漿內去的水時，泥漿內就將含有黏土溶液，由於溶液的黏性及容重均較水為大，黏土溶液的運動規律以及其內土壤的運動規律將有所變更。

下面未曾列举計算黏土泥漿運動的算式，但在我們用分析法推演出來的水流及土壤性質指标的普遍關係式中包括有液体的容重 γ_0 和黏滯性 ν ，这就使有可能把這個問題作為是泥漿運動的一個特殊情形來解決。

對於具有黏土成分在 15—30% 範圍以內的顆粒狀土壤，仍可以利用下面所列举的一些公式，但應估計到在這種結果內是含有某種安全量。

2. 計 算 公 式

上述我們所得到的用來計算臨界流態時、水力輸泥管管徑 D_K 及流速 v_K 的泥漿流和土壤基本性質指标的關係式，具有下列普遍形式：

$$v_K = 8.72 D_K^{0.473} [(\gamma_n - \gamma_0) l]^{0.326} \frac{\gamma_n^{0.0814}}{\gamma_0^{0.488}} \cdot \frac{1}{\Delta^{0.17}} \text{公尺/秒}, \quad (3)$$

$$D_K = 0.46 \frac{Q_n^{0.404} \Delta^{0.0688}}{[(\gamma_n - \gamma_0) l]^{0.132}} \cdot \frac{\gamma_0^{0.197}}{\gamma_n^{0.029}} \text{公尺}. \quad (4)$$

後一公式係以泥漿流量 Q_n 除以輸泥管的過水斷面積去代替 v_K ，並進行必需的換算後而得到的。在推求上述公式時所用的原